

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年9月21日(21.09.2017)



(10) 国際公開番号
WO 2017/159869 A1

- (51) 国際特許分類:
G01R 29/08 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/011005
- (22) 国際出願日: 2017年3月17日(17.03.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-053945 2016年3月17日(17.03.2016) JP
- (71) 出願人: 株式会社 SOKEN(SOKEN, INC.) [JP/JP]; 〒4450012 愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地 Aichi (JP). 国立研究開発法人情報通信研究機構(NATIONAL INSTITUTE OF INFORMATION AND COMMUNICATIONS TECHNOLOGY) [JP/JP]; 〒1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 福井 伸治(FUKUI, Shinji); 〒4450012 愛知県西尾市下羽角町岩谷14番地 株式会社日本自動車部品総合研究所内 Aichi (JP). 頼永 宗男(YORINAGA, Muneco); 〒4450012 愛知県西尾市

下羽角町岩谷14番地 株式会社日本自動車部品総合研究所内 Aichi (JP). 土屋 昌弘(TSUCHIYA, Masahiro); 〒1848795 東京都小金井市貫井北町4-2-1 国立研究開発法人情報通信研究機構内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 名古屋国際特許業務法人(NAGOYA INTERNATIONAL PATENT FIRM); 〒4600003 愛知県名古屋市中区錦一丁目20番19号 名神ビル Aichi (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

[続葉有]

(54) Title: ELECTROMAGNETIC FIELD IMAGING DEVICE

(54) 発明の名称: 電磁界撮像装置

[図1]

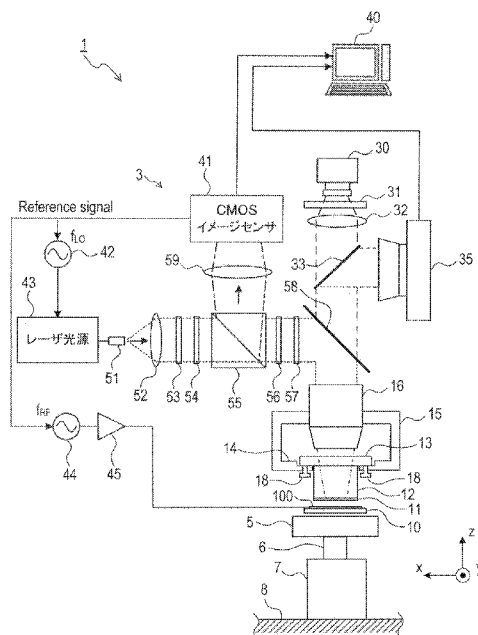


FIG. 1

41 CMOS image sensor
43 Laser light source

(57) Abstract: An electromagnetic field imaging device according to one aspect of the present disclosure has a polarizing optical member disposed so as to face an imaging subject. Modulated light from a laser light source is affected within the polarizing optical member by an electrical field from the imaging subject. The modulated light affected by the electrical field is imaged as detection light. The polarizing optical member is supported in such a state as to be capable of moving in the plate thickness direction of the polarizing optical member. The plate thickness of the polarizing optical member is no more than 1.2 times the minimum air gap of wiring of the imaging subject.

(57) 要約: 本開示の一つの局面における電磁界撮像装置は、撮像対象に対向するように偏光用光学部材が配置される。レーザー光源からの変調光は、偏光用光学部材内で撮像対象からの電界の影響を受ける。その電界の影響を受けた変調光が、検出光として撮像される。偏光用光学部材は、当該偏光用光学部材の板厚の方向へ移動可能な状態で支持される。偏光用光学部材の板厚は、撮像対象が有する配線の最小空隙間隔の1.2倍以下である。

WO 2017/159869 A1



(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK,

SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：電磁界撮像装置

関連出願の相互参照

[0001] 本国際出願は、2016年3月17日に日本国特許庁に出願された日本国特許出願第2016-053945号に基づく優先権を主張するものであり、日本国特許出願第2016-053945号の全内容を参照により本国際出願に援用する。

技術分野

[0002] 本開示は、撮像対象から発生する電磁界を撮像してその撮像結果を画像表示する技術に関する。

背景技術

[0003] 高周波信号が伝搬される各種配線、各種電子部品、さらには任意の平面上の電界又は磁界の空間分布を計測してその計測結果を画像出力する技術が種々提案されている。なお、電界又は磁界のことをまとめて電磁界とも称する。

[0004] 下記の特許文献1には、電気光学結晶による光の電気光学効果を利用して回路上の電界分布を映像化する技術、及び磁気光学結晶による光の磁気光学効果を利用して回路上の電界分布を映像化する技術が記載されている。電気光学結晶及び磁気光学結晶は、当該結晶内に電磁界が存在している場合に当該結晶に入射された光の偏光状態がその電磁界によって変化する性質を有する。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開2011-43375号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 特許文献1に記載されているような、電気光学結晶又は磁気光学結晶を利

用して電磁界分布を映像化する技術においては、高い分解能が求められる。

電磁界分布の分解能は、利用する電気光学結晶又は磁気光学結晶の内部における屈折電磁界積分効果の影響を受ける。

[0007] 近年、ＩＣチップ内の配線パターンの微細化が進み、例えば数 μm 程度の微細な間隔で複数の配線が形成されることもある。このような配線パターン上の電界分布を電気光学結晶又は磁気光学結晶を利用して計測する場合、隣接する配線の間隔が小さいほど、電気光学結晶又は磁気光学結晶の内部における屈折電界積分効果が大きくなり、それぞれの配線から発生する電界が映像上で分解されなくなる。

[0008] 本開示の一局面においては、電気光学効果又は磁気光学効果を有する偏光用光学部材を安定的に支持しつつ、その偏光用光学部材を用いて、微細な配線を含む撮像対象から発生する電磁界の分布を高い分解能で撮像してその撮像結果を画像表示できることが望ましい。

課題を解決するための手段

[0009] 本開示の一局面における電磁界撮像装置は、少なくとも配線を含む撮像対象から発生する、電界又は磁界である電磁界を撮像するように構成されている。この電磁界撮像装置は、変調光出力部と、偏光用光学部材と、第１の支持部材と、反射部材と、第２の支持部材と、偏光処理部と、光電変換部と、撮像処理部とを備える。配線は、電気信号を伝達するための導体であり、伝達される信号の具体的態様、例えば電圧値、電流値、周波数、波形などについては、特に限定されるものではない。

[0010] 変調光出力部は、特定の変調周波数で変調された変調光を出力可能に構成されている。偏光用光学部材は、電気光学効果又は磁気光学効果を有する板状の部材であって、両板面のうち一方の板面である対向面が撮像対象に対向するよう、且つ、変調光出力部から出力された変調光が、両板面のうち他方の板面である入射面に対して垂直方向に入射されるように配置され、当該部材内に電磁界が存在している場合に当該部材に入射された変調光の偏光状態及び位相が電磁界の印加によって変化して、その変化後の変調光である検出

光が出射されるように構成されている。なお、ここでいう「垂直」とは、厳密な意味での垂直に限るものではなく、目的とする効果を奏するのであれば厳密に垂直でなくてもよい。

[0011] 第1の支持部材は、偏光用光学部材を支持するために偏光用光学部材の入射面に取り付けられ、変調光及び検出光の双方が透過可能に構成されている。反射部材は、偏光用光学部材の対向面に取り付けられ、偏光用光学部材に入射されて対向面まで伝搬した変調光を入射面側へ反射させるための部材である。第2の支持部材は、第1の支持部材を、偏光用光学部材の板厚の方向（即ち上記垂直方向）へ移動可能な状態で支持するように構成されている。

[0012] 偏光処理部は、偏光用光学部材から第1の支持部材を介して出射された検出光を、電磁界の強度と位相に応じて変調された光に変換するように構成されている。

光電変換部は、偏光処理部から出力された、電磁界の強度と位相によって変調された検出光が受光されるように配置され、受光した検出光を電気信号に光電変換して出力する。

[0013] 撮像処理部は、光電変換部から出力される電気信号と変調周波数とに基づいて、撮像対象から発生する電磁界の分布を示す二次元画像を生成して表示させる。ここで表示させる二次元画像は、例えば、実時間静止画、実時間動画、録画静止画、及び録画動画の各種画像のうち少なくとも1つであってもよい。

[0014] そして、偏光用光学部材は、板厚が、配線の最小空隙間隔の1.2倍以下となるように構成されている。なお、板厚とは、偏光用光学部材における上記垂直方向の長さである。また、配線の最小空隙間隔とは、撮像対象内における隣接する配線の間隔のうち最も小さい間隔である。

[0015] このような電磁界撮像装置によれば、偏光用光学部材が撮像対象に対して相対的に垂直方向に移動可能に構成されているため、偏光用光学部材と撮像対象とを相対的に密着させる際に両者が当接しても、その当接により偏光用光学部材が破損するのを抑制できる。つまり、偏光用光学部材を安定的に支

持しつつ撮像対象に密着させることができる。しかも、偏光用光学部材の板厚は、配線の最小空隙間隔の1.2倍以下であるため、配線を含む撮像対象からの電磁界分布を、高い分解能且つ低侵襲性で撮像してその撮像結果を画像表示することができる。なお、ここでいう「低侵襲性」とは、偏光用光学部材及びそれを支持する部材が撮像対象に近づいても撮像対象および周辺の電磁界を乱さない度合いを意味する。

図面の簡単な説明

[0016] [図1]第1実施形態の電磁界撮像装置の概要を示す説明図。

[図2]電気光学結晶の支持構造の概略を示す斜視図。

[図3]電気光学結晶の支持構造の詳細を示す側面図。

[図4]電気光学結晶を含む結晶ユニットの支持構造を示す斜視図。

[図5]電気光学結晶とCMOSイメージセンサとの間に介在する光学系の構成を模式的に1つのレンズとして簡略化した光学モデル。

[図6]図5の光学モデルの理論分解能を説明するための説明図。

[図7]撮像対象の配線パターンを示す説明図。

[図8]第1実施形態の電界撮像結果の一例を示す説明図。

[図9]比較のための電界撮像結果の一例を示す説明図。

[図10]隣接する配線からの電界が分解される性能が結晶厚さ D_t に依存することを示す説明図。

[図11]第2実施形態の電気光学結晶の詳細構造を示す斜視図。

[図12]第2実施形態の電磁界撮像装置の概要を示す説明図。

[図13]第2実施形態の電界撮像の流れを概略的に示すフローチャート。

符号の説明

[0017] 1, 80…電磁界撮像装置、5…テーブル、7…位置仰角調整装置、8…床面、10…撮像対象、11, 70…電気光学結晶、12…第1支持ガラス、13…第2支持ガラス、14…ホルダ底板、14a…支持凹部、15…ホルダ本体、15a…支持穴、16…対物レンズ、21…反射膜、22, 23…反射防止膜、25…結晶側マーカ、30…LED照明、33…ハーフミラ

一、35…カメラ、40…撮像制御システム、41…CMOSイメージセンサ、42…光変調用発振器、43…レーザ光源、44…伝達信号用発振器、51…ファイバ端、52…コリメータレンズ、58…ダイクロイックミラー、70x…x軸方向結晶部、70y…y軸方向結晶部、70z…z軸方向結晶部、81…空間偏光コントローラ、100…配線パターン、101…対象側マーカ。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本開示の例示的な実施形態について図面を参照しながら説明する。

[第1実施形態]

(1) 電磁界撮像装置の概要

図1に示す本実施形態の電磁界撮像装置1は、撮像対象10からの電磁界、即ち撮像対象10から発生する電界又は磁界を撮像して、その撮像結果を二次元画像として画像出力することが可能に構成されている。なお、画像出力可能な二次元画像は、本実施形態では、実時間静止画、実時間動画、録画静止画、及び録画動画のうち少なくとも1つである。電界及び磁界のうちどちらが撮像されるかについては、後述する偏光用光学部材として電気光学効果を有する部材（例えば電気光学結晶）及び磁気光学効果を有する部材（例えば磁気光学結晶）のどちらが用いられるかによって決まる。

[0019] 撮像対象10は、本実施形態では、信号を伝達する配線を含む配線パターン100が形成された回路基板である。配線パターン100を伝達される信号は、例えば数百MHz～数十GHzの帯域の信号、即ちマイクロ波～ミリ波の帯域の信号である。なお、配線パターン100を伝達される信号の周波数は上記周波数帯に限定されるものではなく、偏光用光学部材において電気光学効果あるいは磁気光学効果が生じるような周波数帯であればよい。

[0020] 電磁界撮像装置1は、配線パターン100からの電磁界を撮像可能である。図1に示すように、本実施形態の電磁界撮像装置1は、変調光を出力するレーザ光源43を備える。レーザ光源43には、光変調用発振器42（以下、「発振器42」と称する）から、光変調周波数 f_{LO} の光変調信号が入力

される。レーザ光源43は、所定の波長のレーザ光を生成し、そのレーザ光を光変調信号によって振幅変調して、その振幅変調されたレーザ光である変調光を出力する。レーザ光源43から出力される変調光の波長は、本実施形態では例えば780nmである。発振器42には、CMOSイメージセンサ41から所定のリファレンス信号が入力される。このリファレンス信号により、発振器42とCMOSイメージセンサ41とは同期して動作する。

[0021] なお、変調光がレーザ光であることはあくまでも一例であって、変調光がレーザ光であることは必須ではない。レーザ光源以外の光源が用いられ、その光源からの光が変調されて変調光として出力されるように構成されてもよい。

[0022] また、電磁界撮像装置1は、撮像対象10へ供給する伝達信号を生成するための伝達信号用発振器44（以下、「発振器44」と称する）を備える。発振器44は、信号周波数 f_{RF} の伝達信号を生成し出力する。発振器44から出力された伝達信号は、アンプ45で増幅されて、撮像対象10へ供給される。この伝達信号は、撮像対象10の配線パターン100を伝達される。前述のリファレンス信号は、発振器44にも入力される。このリファレンス信号により、発振器44とCMOSイメージセンサ41とは同期して動作する。つまり、発振器42、発振器44、及びCMOSイメージセンサ41は同期して動作する。

[0023] レーザ光源43から出力された変調光は、光ファイバを介してファイバ端51へ導入され、ファイバ端51から出射される。ファイバ端51から出射された変調光は、偏光光学系を経て対物レンズ16に入射される。対物レンズ16に入射された変調光は、第2支持ガラス13及び第1支持ガラス12を透過して、偏光用光学部材としての電気光学結晶11に入射される。

[0024] 電気光学結晶11は、電気光学効果を有する結晶である。電気光学効果とは、周知の通り、電気光学結晶内に入射された光の偏光状態が、当該電気光学結晶内の電界の影響を受けて変化する現象である。本実施形態の電気光学結晶11は、例えばZnTeである。電気光学結晶11は、ZnTe以外の

他の種類の結晶であってもよい。また、偏光用光学部材は、結晶であることは必須ではなく、電気光学結晶以外の、電気光学効果を有する他の偏光用光学部材であってもよい。

[0025] 本実施形態では、偏光用光学部材として電気光学結晶 11 が用いられる例を示している。本実施形態の電磁界撮像装置 1 は、撮像対象 10 から発生する電磁界のうち電界を撮像することが可能に構成されている。なお、電気光学結晶 11 に替えて磁気光学結晶を用いれば、撮像対象 10 から発生する磁界を撮像することが可能となる。磁界分布を撮像する場合においても、磁気光学結晶を用いることはあくまでも一例であり、結晶以外の、磁気光学効果を有する他の偏光用光学部材を用いてもよい。

[0026] 電気光学結晶 11 は、全体として板面が四角形の薄板状の形状を備える。電気光学結晶 11 は、両板面のうち一方が撮像対象 10 と対向するように配置される。より具体的に、電気光学結晶 11 は、撮像対象 10 からの電磁界のうち特に配線パターン 100 の直上近傍の電磁界が当該電気光学結晶 11 内に入るように、撮像対象 10 の上面（具体的には配線パターン 100 の上面）に接触するように配置される。なお、電気光学結晶 11 と撮像対象 10 を接触させることは必須ではなく、両者が離れた状態で配置されてもよい。ただしその場合、両者の間隔は、所望の分解能の撮像結果が得られるような短い間隔にすることが好ましい。

[0027] ファイバ端 51 から出力された変調光は、偏光光学系を経て対物レンズ 16 へ入射する。本実施形態では、 $1/4$ 波長板 53、 $1/2$ 波長板 54、偏光ビームスプリッタ 55、 $1/4$ 波長板 56、及び $1/2$ 波長板 57 を有する構造全体が、偏光光学系である。偏光光学系とは、偏光状態を扱う光学系である。偏光状態とは、一般に、直交する偏光面の位相関係をいう。

[0028] ファイバ端 51 から出力された変調光は、コリメータレンズ 52 により平行光束とされる。コリメータレンズ 52 により平行光束とされた変調光は、偏光光学系である $1/4$ 波長板 53、 $1/2$ 波長板 54、偏光ビームスプリッタ 55 を通過することによって、偏光状態と強度が調整される。偏光ビー

ムスプリッタ 55 を通過した変調光は、さらに、 $1/4$ 波長板 56、及び $1/2$ 波長板 57 を通過し、 $1/2$ 波長板 57 を出射した後は楕円偏光となる。楕円偏光となった変調光は、光軸が、タイクロイックミラー 58 にて対物レンズ 16 方向へ曲げられる。そして、タイクロイックミラー 58 にて光軸が曲げられた変調光は、対物レンズ 16、第 2 支持ガラス 13、及び第 1 支持ガラス 12 を経て、電気光学結晶 11 に入射する。変調光は、電気光学結晶 11 に対し、その板面に垂直に入射する。

[0029] 電気光学結晶 11 に入射された変調光は、電気光学結晶 11 におけるその変調光が入射された入射面とは反対側の面で反射され、再び入射面から出射される。電気光学結晶 11 内で反射されて入射面から出射される変調光は、偏光状態が電気光学結晶 11 内の電界（即ち撮像対象 10 から放射される電界）に応じて変化した光である。この、電気光学結晶 11 内で反射されて入射面から出射される変調光を、以下、検出光と称する。

[0030] 電気光学結晶 11 に入射された変調光は、電気光学結晶 11 内において、信号周波数 f_{RF} の伝達信号が伝達される配線パターン 100 から発生する電界によって局所的な偏光状態の変調を受けて、検出光として電気光学結晶 11 から出射される。電気光学結晶 11 から出射される検出光は、電気光学結晶 11 に入射した変調光が、撮像対象 10 からの電界強度に比例した偏光成分の一部が位相変調された楕円偏光の光であり、電気光学結晶 11 内の電界の局所的強度分布と局所的位相の情報を有する光である。

[0031] 電気光学結晶 11 に入射される変調光の変調周波数は、光変調周波数 f_L である。これに対し、電気光学結晶 11 内で反射されて再び出射される検出光は、入射された変調光に対し、偏光状態が変化している。具体的には、検出光の偏光状態は、撮像対象 10 から発生して電気光学結晶 11 内に存在している電界の強度、周波数、位相に依存すると同時に電界の平面分布情報も含まれた楕円偏光となっている。

[0032] 電気光学結晶 11 の時間応答は極めて高速であり、撮像対象 10 の発する電磁界の信号周波数 f_{RF} に追従する高い周波数応答性を有し、偏光状態の

分布は撮像対象 10 の近傍電磁界の信号周波数 f_{RF} にも応答する。

[0033] 電気光学結晶 11 から出射した楕円偏光の検出光は、前述の偏光光学系の一部、及び結像レンズ 59 を経て、CMOS イメージセンサ 41 へ入射される。ここでいう偏光光学系の一部とは、具体的には、 $1/2$ 波長板 57 と、 $1/4$ 波長板 56 と、偏光ビームスプリッタ 55 とを示す。

[0034] 電気光学結晶 11 から出射する検出光は、後述するように、撮像対象 10 の伝達信号の信号周波数 f_{RF} によって偏光成分の一部が位相変調されている。その位相変調された検出光は、前述の偏光光学系の一部を経ることで、強度変調された光に変換される。その強度変調された光に変換された検出光が、結像レンズ 59 を経て CMOS イメージセンサ 41 へ入射される。

[0035] ここで強度変調とは、CMOS イメージセンサ 41 で受光される際の受光光度が、撮像対象の電界強度、周波数、位相を反映して連続的に変化するように変調することを意味する。前述の偏光光学系の一部による強度変調により、電気光学結晶 11 から出射された検出光、具体的に撮像対象 10 からの電界強度に比例した偏光成分の一部が位相変調された楕円偏光の検出光が、撮像対象 10 からの電界強度に比例して光強度が変化するレーザ光に変換される。ここで、偏光ビームスプリッタ 55 は、入射された検出光に含まれる二つの偏光成分のうち一方を取り出す役割をもつ。偏光ビームスプリッタ 55 によって上方具体的には結像レンズ 59 側) へ取り出された偏光成分は、上記強度変調により撮像対象 10 の電界強度、周波数、位相が反映された偏光成分である。

[0036] つまり、偏光光学系の一部である、偏光ビームスプリッタ 55、 $1/4$ 波長板 56、及び $1/2$ 波長板 57 は、ファイバ端 51 から出力された変調光が電気光学結晶 11 へ向かって進む過程においては、変調光を楕円偏光に変換する機能を発揮する。一方、偏光ビームスプリッタ 55、 $1/4$ 波長板 56、及び $1/2$ 波長板 57 は、電気光学結晶 11 から位相変調を受けて出射された楕円偏光の検出光が CMOS イメージセンサ 41 へ向かって進む過程においては、検出光を強度変調された光に変換する機能を発揮する。

[0037] 結像レンズ59は、偏光ビームスプリッタ55からの検出光をCMOSイメージセンサ41上に結像させる。CMOSイメージセンサ41で結像された検出光は、CMOSイメージセンサ41で電気信号に光電変換される。CMOSイメージセンサ41による光電変換後の電気信号は、撮像制御システム40へ入力される。

[0038] CMOSイメージセンサ41は、検出光を受光して電気信号に光電変換すると、電気信号から特定周波数成分を濾波し、特定周波数の正弦成分と余弦成分を出力する。

撮像制御システム40は、画像を表示可能な表示デバイス（例えば液晶ディスプレイ）を備え、CMOSイメージセンサ41から出力された電気信号をもとに、電界が可視化された二次元画像を表示デバイスに出力する。具体的に、撮像制御システム40は、CMOSイメージセンサ41から入力された電気信号に含まれる特定周波数の正弦成分、余弦成分をもとに、撮像対象の電磁界の強度、位相を算出し、二次元画像データとして出力する。

[0039] 撮像制御システム40は、画素毎に時々刻々と変化する撮像対象の電磁界の位相情報や振幅情報を色相・濃度の変化として表示デバイスに表示させることにより、撮像対象10からの電磁界の変化を動画像として可視化することが可能である。つまり、撮像制御システム40は、ある瞬間における撮像対象10からの電磁界を静止画像として表示させることができるだけでなく、撮像対象10からの電磁界を動画像として表示させることができる。また、それら画像は、実時間表示させることもできるし、録画して後で確認することもできる。そのため、使用者は、撮像対象10からの電磁界の発生状態や時間経過に伴う電磁界の変化を、二次元画像を通してリアルタイムに知ることができるし、録画データに基づいて事後的に確認、分析等することもできる。

[0040] 電気光学結晶11に入射した変調光は、電気光学結晶11の反射膜21で反射し再び電気光学結晶11を通過して検出光として出射される。なお、反射膜21は図1では図示を省略しており、後述する図3に図示されている。

撮像対象 10 に信号周波数 f_{RF} の信号が伝達されている場合、電気光学結晶 11 内を通過する変調光は、信号周波数 f_{RF} の変調を受ける。信号周波数 f_{RF} の変調を受けた変調光である検出光は、前述の偏光光学系の一部及び結像レンズ 59 を経て CMOS イメージセンサ 41 へ出力される。その CMOS イメージセンサ 41 へ入射される検出光には、光変調周波数 f_{LO} 及び信号周波数 f_{RF} の周波数成分に加え、 $|f_{LO} - f_{RF}|$ の周波数成分を持つ中間周波数成分が含まれる。

[0041] 検出光において $|f_{LO} - f_{RF}|$ の周波数成分を持つ中間周波数成分を発生させるのが、先に述べた偏光光学系である、 $1/4$ 波長板 53、 $1/2$ 波長板 54、偏光ビームスプリッタ 55、 $1/4$ 波長板 56、及び $1/2$ 波長板 57 である。ファイバ端 51 から出射された、周波数 f_{LO} で変調された変調光は、 $1/4$ 波長板 53、 $1/2$ 波長板 54、偏光ビームスプリッタ 55 で偏光状態、信号強度が調整され、 $1/4$ 波長板 56 及び $1/2$ 波長板 57 で楕円偏光とされたあと、電気光学結晶 11 で周波数 f_{RF} の位相変調を受ける。この位相変調により、検出光には、差周波数成分である $|f_{LO} - f_{RF}|$ の周波数成分をもち且つ位相変調成分をもつ楕円偏光の成分が含まれる。この楕円偏光の成分を含む検出光が、 $1/2$ 波長板 57、 $1/4$ 波長板 56 及び偏光ビームスプリッタ 55 によって、 $|f_{LO} - f_{RF}|$ の周波数成分を持つ偏光成分に変換され、結像レンズ 59 を経て CMOS イメージセンサ 41 で検出される。この時、偏光光学系及び電気光学結晶 11 は、信号周波数 f_{RF} の伝達信号と光変調周波数 f_{LO} の変調光に対する乗算器としての機能を有し、信号周波数 f_{RF} と光変調周波数 f_{LO} との差周波数である $|f_{LO} - f_{RF}|$ の中間周波数成分を生成する機構として動作する。

[0042] そのため、観測したい信号周波数 f_{RF} に対して光変調周波数 f_{LO} を調整することで、任意の $|f_{LO} - f_{RF}|$ の中間周波数成分を作り出すことができる。この $|f_{LO} - f_{RF}|$ の中間周波数成分は、撮像対象 10 の電界情報を含んでいる。撮像制御システム 40 は、 $|f_{LO} - f_{RF}|$ の中間

周波数成分を、比較的低周波数に調整することで、撮像対象 10 の電界情報を含んだ二次元像を得て表示デバイスに表示させることができる。

[0043] 電磁界撮像装置 1 は、テーブル 5 と、テーブル支持軸 6 と、位置仰角調整装置 7 とを備える。テーブル 5 には、撮像対象 10 が載置される。テーブル支持軸 6 は、テーブル 5 を支持するための部材である。テーブル 5 はテーブル支持軸 6 の一端側に固定されている。テーブル支持軸 6 の他端は、位置仰角調整装置 7 に接続されている。位置仰角調整装置 7 は、床面 8 の上に置かれている。

[0044] 位置仰角調整装置 7 は、テーブル 5 の位置（ひいては撮像対象 10 の位置）や仰角を調整するための装置である。位置仰角調整装置 7 は、テーブル支持軸 6 を、 x 軸方向、 y 軸方向及び z 軸方向の 3 軸方向に個別に移動させることが可能に構成されている。つまり、位置仰角調整装置 7 は、テーブル 5 に載置された撮像対象 10 を 3 軸方向に個別に移動させることができる。

[0045] また、位置仰角調整装置 7 は、テーブル支持軸 6 を、その他端側を中心として x 軸周り及び y 軸周りにそれぞれ個別に回動させることができる。テーブル支持軸 6 が x 軸周りに回動されると、それに伴ってテーブル 5 も x 軸周りに回動し、テーブル支持軸 6 が y 軸周りに回動されると、それに伴ってテーブル 5 も y 軸周りに回動する。

[0046] ここで、テーブル 5 における撮像対象 10 が載置される載置面と、電気光学結晶 11 の両板面のうち撮像対象 10 と対向する面である対向面とのなす角を、仰角と定義する。また、仰角のうち、 x 軸周りの角度成分を x 軸周り仰角と称し、 y 軸周りの角度成分を y 軸周り仰角と称する。

[0047] テーブル 5 が x 軸周りに回動されると、 x 軸周り仰角が変化し、テーブル 5 が y 軸周りに回動されると、 y 軸周り仰角が変化する。

回路基板上に敷設された配線パターン 100 からの電界を配線パターン 100 全体に渡って高精度に撮像するためには、配線パターン 100 が敷設された回路基板の板面と、電気光学結晶 11 の対向面とが、平行になるようにすることが望ましい。つまり、仰角が 0 度になるようにすることが望ましい

。

[0048] 本実施形態の電磁界撮像装置 1 は、初期状態においてテーブル 5 の載置面と電気光学結晶 11 の対向面とが平行になるように構成されている。そのため、設計上は、初期状態においては撮像対象 10 の板面と電気光学結晶 11 の対向面とが平行になる。しかし、実際には、テーブル 5 に撮像対象 10 を載置した場合に、種々の要因によって、撮像対象 10 の板面と電気光学結晶 11 の対向面とが平行になっていない場合も予想される。

[0049] これに対し、本実施形態では、位置仰角調整装置 7 が、前述のようにテーブル 5 を x 軸周り及び y 軸周りに回動させることによって仰角を調整できるように構成されている。そのため、仮に、撮像対象 10 の板面と電気光学結晶 11 の対向面とが平行になっていなくても、位置仰角調整装置 7 によって x 軸周り及び y 軸周りの仰角が 0 度になるように調整することができる。

[0050] 電気光学結晶 11 は、図 1 及び図 2 に示すように、両板面のうち対向面とは反対側の入射面側において第 1 支持ガラス 12 に支持される。第 1 支持ガラス 12 は第 2 支持ガラス 13 に支持されている。そして、図 1 及び図 3 に示すように、第 2 支持ガラス 13 が、中空円板状のホルダ底板 14 に載置されている。

[0051] より詳しくは、図 3 に示すように、電気光学結晶 11 の対向面には、レーザ光源 43 からの変調光を反射させる反射膜 21 が設けられている。電気光学結晶 11 に入射した変調光は、撮像対象 10 側へ透過することなく反射膜 21 により反射して、入射してきた方向へ出射される。

[0052] また、電気光学結晶 11 の入射面には、レーザ光源 43 からの変調光の反射を抑制するための反射防止膜 22 が設けられている。電気光学結晶 11 は、図 3 に示すように、反射防止膜 22 を介して第 1 支持ガラス 12 に取り付けられている。また、第 2 支持ガラス 13 の上面にも、レーザ光源 43 からの変調光の反射を抑制するための反射防止膜 23 が設けられている。なお、図示はされていないが、第 1 支持ガラス 12 と第 2 支持ガラス 13 を一体化した際、第 1 支持ガラス 12 と第 2 支持ガラス 13 の境界で変調光が反射す

る場合は、第1支持ガラス12と第2支持ガラス13の境界に反射防止膜を設けてもよい。

[0053] ホルダ底板14は、ホルダ本体15に対して着脱可能に構成されている。図1は、ホルダ底板14がホルダ本体15に装着されている状態を示している。また、ホルダ本体15には、対物レンズ16がねじ込み固定される。

[0054] ホルダ底板14及びホルダ本体15は、非金属の素材、例えばナイロンによって形成されている。ホルダ底板14及びホルダ本体15の材質は、電界撮像時における低侵襲性を維持するために、絶縁体であること、より詳しくは誘電率ができるだけ小さい絶縁体であることが望ましい。

[0055] なお、偏光用光学部材として磁気光学結晶を用いて磁界を撮像する際には、ホルダ底板14及びホルダ本体15の素材が非磁性体であることが好ましい。ホルダ底板14及びホルダ本体15の素材を非磁性体とすることで、磁界撮像時においても低侵襲性を確保できる。ナイロンは、絶縁体であって且つ非磁性体でもある。そのため、ナイロン製の底板14及びホルダ本体15は、電界撮像及び磁界撮像の双方で共用できる。

[0056] 図4に示すように、ホルダ本体15は、全体として円筒形状である。ホルダ本体15は、上面中央部に、対物レンズ16を支持するための支持穴15aが形成されている。この支持穴15aの内周面には、ねじ溝が形成されている。また、対物レンズ16の外周には不図示のねじ山が形成されている。そのため、対物レンズ16が支持穴15aにねじ込まれることによって、対物レンズ16がホルダ本体15に固定される。

[0057] 図4に示すように、ホルダ本体15は、下面側が開口されており、この下面側においてホルダ底板14を着脱可能に構成されている。ホルダ底板14は、中空円板状の形状を備える。ホルダ底板14は、図3及び図4に示すように、第2支持ガラス13の外周端を支持するための支持凹部14aが形成されている。

[0058] 第2支持ガラス13は、ホルダ底板14に対して固着されず、単に、ホルダ底板14の支持凹部14aに載置された状態で支持される。つまり、電気

光学結晶 1 1、第 1 支持ガラス 1 2、及び第 2 支持ガラス 1 3 を含む 1 つの構成物（以下、「結晶ブロック」と称する）は、ホルダ底板 1 4 に対して固着されず、単に、ホルダ底板 1 4 の支持凹部 1 4 a に載置された状態で支持される。

[0059] そのため、結晶ブロックがホルダ底板 1 4 に載置された状態においては、結晶ブロックは、x 軸方向及び y 軸方向の動きは概ね規制されるものの、z 軸方向上側（図 4 の上方向）への動きは規制されない。つまり、結晶ブロックは、当該結晶ブロックに対して z 軸方向上側への外力が加わった場合に、ホルダ底板 1 4 から z 軸方向上側へ離れて移動することができる。

[0060] なお、図 1、図 2、図 4 では、図 3 に示した反射膜 2 1 及び各反射防止膜 2 2、2 3 については図示を省略している。

ホルダ底板 1 4 の支持凹部 1 4 a には、図 1、図 3、図 4 に示すように、当該支持凹部 1 4 a を垂直方向に貫通するように 3 つのねじ穴 1 4 b が形成されている。具体的に、中空円板状の支持凹部 1 4 a において、周方向に所定の角度間隔（例えば 1 2 0 度間隔）で 3 つのねじ穴 1 4 b が形成されている。

[0061] これら 3 つのねじ穴 1 4 b には、支持凹部 1 4 a の下面側からねじ 1 8 が螺入される。各ねじ 1 8 のねじ軸の長さは、支持凹部 1 4 a の垂直方向厚さよりも長い。そのため、ねじ 1 8 がねじ穴 1 4 b に完全に螺入されると、支持凹部 1 4 a の上面からねじ 1 8 の先端が一定長突出した状態となる。

[0062] 支持凹部 1 4 a の上面からのねじ 1 8 の突出量は、ねじ 1 8 ごとに個別に調整されることができ、ゼロとされることもできる。支持凹部 1 4 a の上面からねじ 1 8 が突出すると、ねじ 1 8 の先端が第 2 支持ガラス 1 3 に当接して、ねじ 1 8 が第 2 支持ガラス 1 3 を支持凹部 1 4 a の上面から浮き上がらせる。

[0063] そのため、支持凹部 1 4 a の上面からのねじ 1 8 の突出量がねじ 1 8 ごとに個別に調整されることで、第 2 支持ガラス 1 3 の傾き（ひいては電気光学結晶 1 1 の傾き）が調整される。これにより、電気光学結晶 1 1 と光学系の

位置関係の調整が可能となる。即ち、変調光が電気光学結晶 11 に垂直に入射されるように微調整されることができる。

[0064] なお、本実施形態では、ホルダ底板 14 に 3 つのねじ穴 14 b が形成されている例を示したが、ねじ穴 14 b の数は 3 つに限定されない。電気光学結晶 11 の水平調整、即ち電気光学結晶 11 の板面に対して変調光が垂直に入射されるようにするための調整を、適切に行うことができる限り、ねじ穴の数やねじ穴の位置は特に限定されるものではない。

[0065] 電気光学結晶 11 における対向面の四隅には、図 4 に示すように、所定の形状（例えば円形）の結晶側マーカ 25 が付加されている。一方、撮像対象 10 を構成する回路基板の四隅にも、所定の形状（例えば円形）の対象側マーカ 101 が付加されている。なお、結晶側マーカ 25 及び対象側マーカ 101 は、撮像時に z 軸方向において重なることがないような位置に付加されている。これらマーカ 25, 101 は、後述するように、電気光学結晶 11 と撮像対象 10 とを平行な状態で密着させるための密着平行度調整が行われる際に利用される。

[0066] ここで、結晶ブロックを構成する電気光学結晶 11 及び各支持ガラス 12, 13 の垂直方向（z 軸方向）の寸法について、図 3 を参照して説明する。本実施形態では、第 1 支持ガラス 12 の垂直方向寸法 D_{h1} は例えば 3 mm であり、第 2 支持ガラス 13 の垂直方向寸法 D_{h2} は例えば 1 mm である。

[0067] また、電気光学結晶 11 の垂直方向寸法である結晶厚さ D_t は、例えば 0.01 mm である。これに対し、撮像対象 10 の配線パターン 100 における隣接するパターン間の間隔 D_{gi} （図 7 参照）のうち最も小さい間隔である最小空隙間隔 D_{gm} は、例えば 0.01 mm である。

[0068] 本実施形態では、電気光学結晶 11 の結晶厚さ D_t が、撮像対象 10 の最小空隙間隔 D_{gm} の 1.2 倍以下の範囲内に設定されている。つまり、撮像対象 10 の最小空隙間隔 D_{gm} が例えば 0.01 mm であるならば、電気光学結晶 11 の結晶厚さ D_t は、0.012 mm 以下の範囲内に設定される。換言すれば、撮像対象 10 の最小空隙間隔 D_{gm} を撮像対象 10 の最小分解

能としたとき、電気光学結晶 11 の結晶厚さ D_t は、撮像対象 10 の最小分解能の 1.2 倍以下の範囲内に設定する必要がある。このように、本実施形態では、電気光学結晶 11 が、撮像対象の最小空隙間隔 D_g を基準（即ち最小分解能を基準）とした薄板状の形状を備えることで、撮像結果として得られる電界分布の高分解能化が実現されている。

[0069] 電磁界撮像装置 1 は、図 1 に示すように、撮像対象 10 を z 軸方向に光学的に撮影するための構成も有する。具体的に、電磁界撮像装置 1 は、LED 照明 30 と、絞り 31 と、レンズ 32 と、ハーフミラー 33 と、カメラ 35 とを備える。LED 照明 30 は、撮像対象 10 を照らすための光を射出する。

[0070] LED 照明 30 から射出された光は、絞り 31、レンズ 32、ハーフミラー 33、ダイクロイックミラー 58、対物レンズ 16、及び各支持ガラス 12、13 を経て、電気光学結晶 11 に照射される。さらにその光は、電気光学結晶 11 を透過して撮像対象 10 にも到達する。ここで、反射膜 21 は、LED 照明 30 からの光の波長帯域に対しては反射膜としては機能しない。そのため、LED 照明 30 からの光は、反射膜 21 を透過して撮像対象 10 に到達する。

[0071] これにより、撮像対象 10 が対物レンズ 16 を介して視認可能となり、撮像対象 10 の画像がハーフミラー 33 を介してカメラ 35 で撮影される。カメラ 35 で撮影された画像データは、撮像制御システム 40 へ入力される。撮像制御システム 40 は、カメラ 35 から入力された画像データに基づき、カメラ 35 で撮影された撮像対象 10 の画像を表示デバイスに表示させることができる。また、撮像制御システム 40 は、カメラ 35 で撮影された光学像に、CMOS イメージセンサ 41 で撮像した電界映像、磁界映像を重畳させて表示デバイスに表示することもできる。

[0072] ここで、図 4 に示したように、電気光学結晶 11 における対向面の四隅にはそれぞれ結晶側マーカ 25 が付加され、撮像対象 10 を構成する回路基板の四隅にはそれぞれ対象側マーカ 101 が付加されている。これらマーカ 2

5、101もカメラ35で撮影され、画像表示させて確認することができる。

[0073] 本実施形態では、電気光学結晶11の位置が、電気光学結晶11がカメラ35で撮影された場合に電気光学結晶11の4つの結晶側マーカ25がいずれもピントが合った状態で表示デバイスに表示されるように調整されている。よって、撮像対象10の4つの対象側マーカ101についても、カメラ35で撮影された場合にいずれもピントが合った画像が得られれば、電気光学結晶11と撮像対象10とが、密着した状態か若しくはわずかに離れた状態であって且つ平行な状態になっていると言える。

[0074] 一方、電気光学結晶11の4つの結晶側マーカ25がいずれもピントが合った状態となっているのに対して、撮像対象10の4つの対象側マーカ101のうち少なくとも1つが他と比較してピントの合い方が異なっている場合は、電気光学結晶11と撮像対象10とが平行な状態になっていないか若しくは両者の離間距離が大きい状態にあると言える。

[0075] そこで、本実施形態では、使用者は、各マーカ25、101のピントの合い方をカメラ35で撮影して確認しながら、電気光学結晶11と撮像対象10との密着平行度調整を行うことができる。具体的に、使用者は、カメラ35の撮影画像において各結晶側マーカ25及び各対象側マーカ101のいずれもピントが合った状態となるように、位置仰角調整装置7によって撮像対象10を電気光学結晶11に近づけて行くことで、電気光学結晶11と撮像対象10とを平行状態で密着した状態にすることができる。なお、使用者は、カメラ35の代わりにCMOSイメージセンサ41を光学撮影モードとして使用することで、CMOSイメージセンサ41による撮像画像によっても、ピント調整を行うことが可能である。

[0076] なお、位置仰角調整装置7の動作は、例えば、当該位置仰角調整装置7に対する直接的な操作によって制御できるようにしてもよい。また例えば、位置仰角調整装置7と撮像制御システム40とが電氣的に接続され、撮像制御システム40が、カメラ35の撮影画像から、電気光学結晶11の下面にあ

る各結晶側マーカ 25 と撮像対象 10 の各対象側マーカ 101 の焦点の一致度を自動判断することにより、位置仰角調整装置 7 を自動制御してもよい。

[0077] また、電気光学結晶 11 において、対向面に付加する結晶側マーカ 25 の数や形状、位置などは適宜決めてもよい。撮像対象 10 の対象側マーカ 101 についても、その数や形状、位置などは適宜決めてもよい。

[0078] (2) 光学系全体の解像度に関する補足説明

ここで、本実施形態の電磁界撮像装置 1 の解像度について、図 5 及び図 6 を用いて補足説明する。図 5 は、電気光学結晶 11 と CMOS イメージセンサ 41 との間に介在する光学系の構成を模式的に 1 つのレンズ 50 として簡略化した光学モデルである。

[0079] この光学モデルの理論分解能を、図 6 に示す。図 6 において、横軸は、光学系の光路が理想状態からずれた場合の光路偏差を示す。横軸ゼロの点は、光学系が理想的な光路で結合した状態を意味する。図 6 の縦軸は光学系の解像度である。

[0080] 図 6 において、「D i f f r a c t i o n」と表記されている破線は、回折限界を示し、本実施形態では例えば $0.61\lambda/NA$ となる。図 1 に示す本実施形態の電磁界撮像装置 1 における光学系では、回折限界は約 $10\mu m$ となる。焦点ボケ、即ちピントの不一致は、レンズ 50 と電気光学結晶 11 までの距離 d_1 の偏差（図 6 中の「O b j e c t i v e」と表記されている一点鎖線）に比例し、且つ、レンズ 50 とイメージセンサ 41 までの像距離 d_2 の偏差（図 6 中の「I m a g e」と表記されている点線）にも比例する。この場合、 d_2 の偏差よりも d_1 の偏差の方が支配的となる。光学系全体の解像度は、上記 3 者の合成（即ち破線、一点鎖線及び点線の 3 つの特性の合成）となり、図中実線で示されている。この図から明らかなように、光学系全体の解像度は、距離 d_1 の偏差が最も支配的となる。

[0081] 本実施形態の電磁界撮像装置 1 では、レーザ光源 43 から各種光学素子やレンズを経て CMOS イメージセンサ 41 へ至る光学系全体が、撮像対象 10 からの電磁界を撮像するための十分な分解能、精度を持っている。すなわ

ち、図6において距離の偏差がほぼない（つまり横軸が0若しくは0に近い）状態となっている。

[0082] (3) 電界撮像例

図8に、本実施形態の電磁界撮像装置1を用いて撮像対象10からの電界分布を撮像した結果の一例を示す。図8は、z軸方向電界成分のみを撮像可能に構成された電気光学結晶を用いて撮像した場合の撮像結果を示している。図8は、図7に示す配線パターン100に伝達信号を給電した場合の電界撮像結果の一例である。

[0083] なお、撮像を行う際には、撮像開始前に、前述の通り、密着平行度調整を行って、電気光学結晶11を撮像対象10に対して平行且つ密着させた状態にする。

図7に示すように、撮像対象10に形成された配線パターン100は、線幅 $DL = 10\ \mu m$ の配線が $2.0\ mm$ ずつ折り返しながら Dgi の間隔で敷設された構成となっている。隣接する線路間の間隔 Dgi の最小値である最小空隙間隔 Dgm は、 $10\ \mu m$ である。なお、図8の結果は、結晶厚さ Dt が $10\ \mu m$ の電気光学結晶11を利用した場合の結果である。

[0084] 図8においては、明暗が濃いほど電界強度が弱く、逆に明暗が薄いほど電界強度が強いことを示している。図8から明らかなように、配線パターン100に沿ってその直上の電界分布が高い分解能で観測されている。

[0085] 図9は、比較用として、結晶厚さ Dt が $350\ \mu m$ と厚い電気光学結晶を用いた場合の撮像結果の一例を示す。図9から明らかなように、配線パターン100の最小空隙間隔 Dgm に対して結晶厚さ Dt が相対的に大きい場合、配線パターン直上の電界だけでなく、さらにそのz軸方向上部の電界まで積算された結果が観測され、よって、配線パターン100直上の電界分布が精度良く得られない。

[0086] (4) 結晶厚さ Dt と隣接する配線の電界の分解能との関係

結晶厚さ Dt と配線の空隙間隔との関係について、図10を用いて補足説明する。図10に示すように、結晶厚さ Dt の検証用の撮像対象として、並

走する2つの配線100a、100bを有する撮像対象を用意する。そして、その撮像対象上に、結晶厚さD_tの電気光学結晶150を配置する。なお、2つの配線100a、100bの線幅は1 μ mであり、これら各配線100a、100bの間隔（即ち空隙間隔）は1 μ mである。

[0087] 図10は、電気光学結晶150の結晶厚さD_tを異なる6種類に変化させた場合のそれぞれのz軸方向電界成分の分布をシミュレーションした例を示す。なお、図10は、各配線100a、100bに同相の伝送信号を印加した場合の撮像結果を示している。図10の結果に基づき、等間隔に並走している各配線100a、100bの双方の電界強度を分離して検出するために必要な結晶厚さD_tについて検証する。

[0088] 各配線100a、100bに同相の伝送信号を印加した場合、各配線100a、100b上の電界強度は同相に変化する。結晶厚さD_tが厚くなると、各配線100a、100bの直上の電界だけでなく、各配線100a、100bの直上よりもさらにz軸方向上方の空間に広がった電界まで検知されてしまう。そのため、結晶厚さD_tが厚くなると、配線の有無による信号強比が十分とれなくなる。

[0089] 各配線100a、100bからの電界を個別に精度良く検出するためには、各配線100a、100bの間のギャップ領域における中央部の電界強度の検出値が、各配線100a、100b上の電界強度の検出値の半分以下であることが望ましい。図10の例では、結晶厚さD_tが1.2 μ m以下の場合に、ギャップ領域中央部の電界強度の検出値が、各配線100a、100b上の電界強度の検出値の半分以下となっている。

[0090] つまり、配線の空隙間隔が1 μ mの場合には、結晶厚さD_tは1.2 μ m以下とするのが好ましい。このことから、結晶厚さD_tは、撮像対象における最小空隙間隔D_gmの1.2倍以下とするのが好ましく、より好ましくは最小空隙間隔D_gm以下にするとよい。

[0091] （5）第1実施形態の効果

以上説明した第1実施形態によれば、電気光学結晶11が撮像対象10に

対して相対的に垂直方向に移動可能に構成されている。つまり、電気光学結晶 11 を撮像対象 10 に近接させていくことで撮像対象 10 に当接してそれにより撮像対象 10 から z 軸方向の外力を受けた場合に、その外力の方向へ移動できるような構造となっている。そのため、電気光学結晶 11 と撮像対象 10 とを相対的に密着させる際に両者が当接しても、その当接により電気光学結晶 11 が破損するのを抑制できる。

[0092] しかも、電気光学結晶の板厚である結晶厚さ D_t は、配線の最小空隙間隔 D_{gm} の 1.2 倍以下であるため、配線を含む撮像対象からの電磁界分布を高い分解能且つ低侵襲性で撮像してその撮像結果を画像表示することができる。特に、本実施形態では、撮像結果を静止画として表示させることができるのに加え、動画像として表示させることもできる。そのため、電磁界の時系列的変化を高い精度で観測することができる。

[0093] また、本第 1 実施形態では、電気光学結晶 11 が、各支持ガラス 12, 13 で支持され、且つ第 2 支持ガラス 13 が非金属（本実施形態ではナイロン）のホルダ底板 14 及びホルダ本体 15 によって支持されている。つまり、電気光学結晶 11 は、撮像対象 10 から発生する電界の分布に影響を与えない（或いはその影響が小さい）素材によって支持されている。そのため、撮像対象 10 からの電磁界を低侵襲性にて撮像することができる。

[0094] また、本第 1 実施形態の電磁界撮像装置 1 は、撮像対象 10 と電気光学結晶 11 との相対的位置関係を自在に調整できる。具体的に、本実施形態では、テーブル 5 を x 軸方向、y 軸方向及び z 軸方向に移動させることができると共に、x 軸周り仰角及び y 軸周り仰角もそれぞれ個別に調整できる。そのため、撮像対象 10 を電気光学結晶 11 に平行な状態で密着させるための密着平行度調整を容易に行うことができる。

[0095] ここで、電磁界撮像装置 1 は本開示の電磁界撮像装置の一例に相当する。レーザ光源 43 は本開示の変調光出力部の一例に相当する。各支持ガラス 12, 13 は本開示の第 1 の支持部材の一例に相当する。反射膜 21 は本開示の反射部材の一例に相当する。ホルダ底板 14 は本開示の第 2 の支持部材の

一例に相当する。CMOSイメージセンサ41は本開示の光電変換部の一例に相当する。撮像制御システム40は本開示の撮像処理部の一例に相当する。偏光光学系は本開示の偏光処理部の一例に相当する。位置仰角調整装置7は本開示の移動部、移動制御部、及び可動機構の一例に相当する。

[0096] [第2実施形態]

電気光学結晶の他の構成例を、第2実施形態として説明する。前述の第1実施形態では、電気光学結晶として、同じ1つの結晶を薄板状に形成した電気光学結晶11を例示した。本第2実施形態では、電界に対する感度方向が異なる複数の結晶を有する構造の電気光学結晶を例示する。

[0097] 図11に示すように、本第2実施形態の電気光学結晶70は、全体としては両面四角形の薄板形状であるが、より詳しくは、細長形状の複数の結晶部がx軸方向に短冊状に配列された配列構造となっている。具体的に、x軸方向に配列された3つの結晶部、即ちx軸方向結晶部70x、y軸方向結晶部70y、及びz軸方向結晶部70z、を1つの単位構造として、この単位構造がx軸方向に4つ配列された構成となっている。なお、このように単位構造が4つ配列された配列構造は一例であって、撮像したい領域に応じ電気光学結晶70の短冊の形状、配列状態は適宜組み合わせるようにしてもよい。例えば、撮像対象に応じて、短冊の形状を変えてもよい、また、異なる形状の短冊を組み合わせたり、電気光学結晶、磁気光学結晶など、異なる特性の材料を組み合わせてもよい。

[0098] x軸方向結晶部70x、y軸方向結晶部70y、及びz軸方向結晶部70zの各結晶部の寸法形状は同じである。なお、各結晶部70x、70y、70zのx軸方向の長さを、規定長 Δd と称する。

[0099] 各結晶部70x、70y、70zは、いずれも同じ組成の結晶であり、本実施形態では前述の通りZnTeであるが、電界に対する感度方向がそれぞれ異なる。即ち、x軸方向結晶部70xは、当該x軸方向結晶部70x内の電界のうちx軸方向の成分であるx軸方向電界成分に対する感度が最も高く、y軸方向電界成分及びz軸方向電界成分に対する感度はないか若しくは非

常に低い。なお、ここでいう感度は、撮像対象の電界強度 A と、PBS 後、即ち偏光ビームスプリッタ通過後の強度変調された光の振幅 B との比率である、 B/A で定義される。なお、PBS とは、偏光ビームスプリッタを意味する「Polarization beam splitter」の略称である。

[0100] なお、各結晶部 70x, 70y, 70z がいずれも同じ組成の結晶であることは必須ではなく、各結晶部 70x, 70y, 70z の少なくとも 1 つが他とは異なる組成であってもよい。

[0101] y 軸方向結晶部 70y は、当該 y 軸方向結晶部 70y 内の電界のうち y 軸方向の成分である y 軸方向電界成分に対する感度が最も高く、x 軸方向電界成分及び z 軸方向電界成分に対する感度はないか若しくは非常に低い。z 軸方向結晶部 70z は、当該 z 軸方向結晶部 70z 内の電界のうち z 軸方向の成分である x 軸方向電界成分に対する感度が最も高く、x 軸方向電界成分及び y 軸方向電界成分に対する感度はないか若しくは非常に低い。

[0102] 電気光学結晶として、例えば、全体として x 軸方向電界成分に対する感度のみが高く、他の 2 軸成分に対する感度が低いものを用いると、x 軸方向の電界成分については適切に検出できるものの他の 2 軸成分については検出光に反映されにくくなり、x 軸方向電界成分の分布が相対的に強く表れた、実体とは異なる結果が得られてしまう。

[0103] そこで本実施形態では、図 11 に示すように、電気光学結晶 70 が、x 軸方向結晶部 70x、y 軸方向結晶部 70y 及び z 軸方向結晶部 70z が一定方向（例えば x 軸方向）に周期的に配列された構造となっている。この電気光学結晶 70 を用いた撮像対象 10 の撮像は、後述するように、x 軸方向に規定長 Δd ずつ異なる 3 箇所で行われる。そして、それら 3 箇所の撮像結果が合成されることで、撮像対象 10 全体の電界分布が適切に得られる。

[0104] 図 11 の電気光学結晶 70 を用いて撮像対象 10 を撮像するための電磁界撮像装置を、図 12 に示す。図 12 に示す電磁界撮像装置 80 は、図 1 に示した第 1 実施形態の電磁界撮像装置 1 と比較して、1/2 波長板 57 及び 1/4 波長板 56 の代わりに空間偏光コントローラ 81 を設けている点が異なる。

る。

[0105] 図 1 1 の電気光学結晶 7 0 の x 軸方向結晶部 7 0 x、y 軸方向結晶部 7 0 y、及び z 軸方向結晶部 7 0 z は、短冊形状毎に異なる。そのため、撮像画像を得るためには、図 1 の 1 / 2 波長板 5 7 及び 1 / 4 波長板 5 6 に代えて、検出光の偏光状態を短冊領域ごとに制御して CMOS イメージセンサ 4 1 で光強度変調信号として検出できるようにするための偏光光学系を用意する必要がある。これを実現するのが空間偏光コントローラ 8 1 である。

[0106] 空間偏光コントローラ 8 1 は、具体的には、当該空間偏光コントローラ 8 1 内において、電気光学結晶 7 0 における x、y、z 各軸結晶部の光路に相当する領域毎に、異なる偏光コントローラが配列された構造となっている。すなわち、空間偏光コントローラ 8 1 は、短冊上に配列された各結晶部毎にその結晶部に対応した偏光光学系が組み合わされた構造となっている。

[0107] 一方、上記構成の空間偏光コントローラ 8 1 を固定空間偏波コントローラとした場合、この固定空間偏波コントローラとは別の構成の空間偏波コントローラを構成することもできる。例えば、液晶素子等で電氣的に偏光状態を制御できる構成の空間偏波コントローラを用いることもできる。そのような構成の空間偏波コントローラを用いれば、任意の短冊形状の各結晶部ごとに偏光状態を調整でき、電気光学結晶 7 0 を異なる形状のものに変更する度に空間偏光コントローラを交換する必要がなくなる。このような動的空間偏光コントローラを用いてもよい。

[0108] 図 1 1 に示した短冊形状の電気光学結晶 7 0 を用いて電磁界撮像装置 8 0 により撮像対象 1 0 からの電界を撮像する際の流れの概要を、図 1 3 を用いて説明する。

なお、撮像を開始する前に、撮像作業者は、前述の通り、密着平行度調整を行って、電気光学結晶 7 0 を撮像対象 1 0 に対して平行且つ密着させた状態にする。

[0109] 図 1 3 に示すように、撮像が開始されると、S 1 1 0 で、撮像制御システム 4 0 が、撮像対象 1 0 における観測面全体の電界分布を撮像する。即ち、

撮像制御システム40は、レーザ光源43から変調光を出力させ、CMOSイメージセンサ41からの電気信号に基づいて、撮像対象10の電界分布を撮像する。

[0110] S120では、撮像制御システム40が、電気光学結晶70を構成するx軸方向結晶部70x、y軸方向結晶部70y及びz軸方向結晶部70zの配列周期に基づいて、S110で得られた電界分布を、x軸方向電界成分、y軸方向電界成分、及びz軸方向電界成分の各領域に弁別して保存する。

[0111] S130では、撮像制御システム40が、S110で1回目の撮像を行った初期状態から撮像対象10が規定長 Δd の2倍の距離移動されたか否か判断する。まだ規定長 Δd の2倍の距離移動されていない場合は、S140で、位置仰角調整装置7に、撮像対象10を規定長 Δd だけx軸方向に移動させる。S140の処理後はS110に戻る。S130で、撮像対象10が規定長 Δd の2倍の距離移動された場合は、S150に進む。

[0112] S150に進んだ時点では、x軸方向に Δd ずつ異なる3箇所の位置においてそれぞれ電界が撮像されてその結果が保存された状態となっている。つまり、撮像対象10のほぼ全領域において、x、y、z各軸の電界成分が個別に得られた状態となっている。

[0113] S150では、撮像制御システム40が、それら3箇所で保存された各軸電界成分を合成し、各成分を電界分布として表示デバイスに表示させる。

図11に示した構造の電気光学結晶70を用いても、第1実施形態と同等の作用効果を得ることができる。

[0114] 特に、本第2実施形態では、電気光学結晶70が、x、y、z各方向に最大感度を有する各結晶部が周期的に配列された構造となっている。そのため、それらの配列間隔である規定長 Δd ずつx軸方向にずらしながら電界分布を撮像することで、撮像対象10のほぼ全面において、3軸の各電界成分が合成された電界分布を得ることができる。なお、本第2実施形態における有効な撮像領域は、第1実施形態におけるx軸方向の有効撮像エリアよりも $2\Delta d$ だけ小さい領域となる。なお、本計測には $2\Delta d$ の移動のための時間が

必要となるが、移動に要する時間も非常に短く、条件によっては1秒以下にすることも可能である。そのため、計測に要する時間待ちはほとんどなく撮像結果を表示できる。

[0115] ここで、図11に示すように構成された本実施形態の電気光学結晶70を用いて電界を撮像する方法の別の例について説明する。本実施形態の電気光学結晶70は、図11に示すように、細長形状の複数の結晶部がx軸方向に短冊状に配列された構成となっている。具体的に、x軸方向結晶部70x、y軸方向結晶部70y、及びz軸方向結晶部70zの3つの結晶部からなる単位構造がx軸方向に4つ配列された構成となっている。

[0116] ここで、各結晶部のx軸方向の幅である規定長 Δd は、撮像光学系の分解能に対して小さい値とする。そして、このように規定長 Δd が決められた電気光学結晶70を用いて、撮像を実施する。この場合、撮像対象エリアをCMOSイメージセンサ41で撮像したとき、1つの単位構造の領域内で得られた、x軸方向結晶部70xによるx軸方向電界成分、y軸方向結晶部70yによるy軸方向電界成分、及びz軸方向結晶部70zによるz軸方向電界成分、の各電界成分を1つの単位構造内での撮像結果として近似することができる。

[0117] 具体的に、光学系、CMOSイメージセンサ41は短冊の規定長 Δd を十分判別できる分解能を持つため、撮像結果に対し、x軸方向結晶部70x、y軸方向結晶部70y、及びz軸方向結晶部70zによる撮像結果を示す撮像エリアの対応づけを行う。そして、撮像制御システム40の表示デバイスにx軸、y軸、z軸の各電界成分を表示する際は、電気光学結晶70の規定長 Δd から、1つの単位構造の幅である $3\Delta d$ 相当の領域に解像度を落として表示領域を用意する。そして、x軸、y軸、z軸の各電界成分をそれぞれ $3\Delta d$ 間隔で表示領域に再割り振りし、x軸、y軸、z軸の各電界成分を再構築して画像表示する。これにより、撮像対象10を移動させることなく、一度の撮像によって、各電界成分、さらには電界ベクトルを撮像可能となる。

[0118] なお、 x 軸方向結晶部 70 x は本開示の x 軸方向光学部の一例に相当する。 y 軸方向結晶部 70 y は本開示の y 軸方向光学部の一例に相当する。 z 軸方向結晶部 70 z は本開示の z 軸方向光学部の一例に相当する。空間偏光コントローラ 81 及び偏光ビームスプリッタ 55 は本開示の偏光処理部の一例に相当する。

[0119] [他の実施形態]

以上、本開示を実施するための形態について説明したが、本開示は上述の実施形態に限定されることなく、種々変形して実施することができる。

[0120] (1) 上記各実施形態では、偏光用光学部材として電気光学結晶を用いた例を示したが、電気光学結晶に代えて磁気光学結晶を用いることで、撮像対象 10 から発生する磁界の分布を撮像できるようにしてもよい。その場合も、電界撮像時と同様、高い分解能と低侵襲性にて、磁界分布の二次元画像を得ることができる。

[0121] (2) 上記実施形態では、撮像対象 10 側を動かすことで密着平行度調整を行うことが可能に構成されていたが、逆に、撮像対象 10 は固定させ、電気光学結晶を含む光学系全体を動かすことで密着平行度調整を行うことが可能であってもよい。或いは、電気光学結晶側及び撮像対象 10 側の双方を動かすことができてよい。

[0122] また、電気光学結晶と撮像対象 10 との密着平行度調整を行う方法は、上述した各マーカ 25, 101 を用いた方法に限定されない。例えば、電気光学結晶については上記実施形態と同様に各マーカ 25 を用いてピント合わせを行い、撮像対象 10 については例えば配線パターン 100 を用いてピント合わせを行うようにしてもよい。その場合、配線パターン 100 が全体としてピントが合った状態で撮影されれば、電気光学結晶と撮像対象 10 とが平行な状態で密着していると判断できる。また、マーカを用いない他の方法、或いはカメラ 35 自体を用いない他の方法によって密着平行度調整を行うようにしてもよい。

[0123] (3) 電気光学結晶が各支持ガラス 12, 13 で支持されることはあくま

でも一例である。ガラス以外の、光を透過可能な他の物質で電気光学結晶が支持されてもよい。より具体的には、透明な物質、即ち入射した光が物質の内部で反射、屈折、回折、散乱等しないような性質の他の物質で電気光学結晶が支持されてもよい。

[0124] (4) 偏光用光学部材の板面形状が四角形状であることは必須ではない。四角形以外の他の形状の板面形状を有する偏光用光学部材を用いてもよい。例えば、四角形以外の他の多角形状であってもよいし、円形状の薄板形状であってもよい。

[0125] また、電界に対する感度方向が異なる複数の結晶部により構成される偏光用光学部材として、図 11 に示した電気光学結晶 70 のような、 x 、 y 、 z 3 軸それぞれの感度方向を持つ結晶部を周期的に配列した構造はあくまでも一例である。各軸結晶部をそれぞれどのように配置するかについては適宜決めてもよい。また、 x 、 y 、 z 3 軸の結晶部を有することは必須ではなく、例えば何れか 2 軸の結晶部のみを有していてもよい。また、撮像対象が特定方向成分（例えば x 軸成分）のみでよい場合は、その特定方向の感度が最も強い結晶部のみからなる偏光用光学部材を用いて撮像してもよい。

[0126] (5) 上記実施形態では、撮像対象として、図 4、図 7 に例示した配線パターン 100 を含む回路基板を示したが、これはあくまでも一例である。本開示の電磁界撮像装置は、電気信号を伝達する配線を含む各種の撮像対象についてその電磁界の分布を撮像することができる。例えば、配線以外の他の導体パターンが形成された回路基板や、各種電子部品が搭載された回路基板などを撮像対象として、それら導体パターンや各種電子部品からの電磁界を撮像することもできる。さらには、配線以外の撮像対象（例えば実装された部品）からの電磁界の撮像も可能である。

[0127] 撮像対象が配線以外の場合、結晶厚さ D_t は、例えば、撮像対象中における隣接する導体パターン間の間隔の最も小さい間隔の 1.2 倍以下にするとよい。或いは、撮像対象中に電子部品と導体パターンがある場合は、電子部品と導体パターンの間隔の最も小さい値の 1.2 倍以下にしてもよいし、隣

接する電子部品間の間隔の最も小さい値の 1.2 倍以下にしてもよい。

[0128] 必要な最小分解能は、撮像対象の構成や撮像目的に依存する。よって、結晶厚さ D_t は、撮像対象の構成や撮像目的に応じて要求される最小分解能に基づき、その最小分解能に相当する長さの 1.2 倍以下の範囲内で適宜決定すればよい。

[0129] (6) その他、上記実施形態における 1 つの構成要素が有する機能を複数の構成要素として分散させたり、複数の構成要素が有する機能を 1 つの構成要素に統合させたりしてもよい。また、上記実施形態の構成の一部を省略してもよい。また、上記実施形態の構成の少なくとも一部を、他の上記実施形態の構成に対して付加又は置換してもよい。なお、特許請求の範囲に記載した文言のみによって特定される技術思想に含まれるあらゆる態様が本開示の実施形態である。

請求の範囲

[請求項1]

少なくとも配線（１００）を含む撮像対象（１０）から発生する、電界又は磁界である電磁界を撮像するように構成された電磁界撮像装置であって、

特定の変調周波数で変調された変調光を出力可能に構成された変調光出力部（４３）と、

電気光学効果又は磁気光学効果を有する板状の部材であって、両板面のうち一方の板面である対向面が前記撮像対象に対向するよう、且つ、前記変調光出力部から出力された前記変調光が、両板面のうち他方の板面である入射面に対して垂直方向に入射されるように配置され、当該部材内に前記電磁界が存在している場合に当該部材に入射された前記変調光の偏光状態及び位相が前記電磁界の印加によって変化して、その変化後の変調光である検出光が出射されるように構成された偏光用光学部材（１１，７０）と、

前記偏光用光学部材を支持するために前記偏光用光学部材の前記入射面に取り付けられ、前記変調光及び検出光の双方が透過可能な第１の支持部材（１２，１３）と、

前記偏光用光学部材の前記対向面に取り付けられ、前記偏光用光学部材に入射されて前記対向面まで伝搬した前記変調光を前記入射面側へ反射させるための反射部材（２１）と、

前記第１の支持部材を、前記偏光用光学部材の板厚の方向へ移動可能な状態で支持するように構成された第２の支持部材（１４）と、

前記偏光用光学部材から前記第１の支持部材を介して出射された前記検出光を、前記電磁界の強度と位相に応じて変調された光に変換して出力するように構成された、偏光処理部（５５～５７）と、

前記偏光処理部から出力された、前記電磁界の強度によって変調された前記検出光が受光されるように配置され、受光した前記検出光を電気信号に光電変換して出力するように構成された光電変換部（４１

) と、

前記光電変換部から出力される前記電気信号と前記変調周波数とに基づいて、前記撮像対象から発生する前記電磁界の分布を示す二次元画像を生成して表示させるように構成された撮像処理部（40）と、
を備え、

前記偏光用光学部材は、板厚が、前記配線の最小空隙間隔の1.2倍以下である、電磁界撮像装置（1、80）。

[請求項2]

請求項1に記載の電磁界撮像装置であって、

前記垂直方向をz軸方向、そのz軸方向に垂直な特定の方向をx軸方向、前記z軸方向に垂直且つ前記x軸方向に垂直な方向をy軸方向として、

前記偏光用光学部材（70）は、

前記電磁界の前記x軸方向の成分であるx軸成分に起因して前記偏光状態が変化する感度が最も大きい特性を有するx軸方向光学部（70x）と、

前記電磁界の前記y軸方向の成分であるy軸成分に起因して前記偏光状態が変化する感度が最も大きい特性を有するy軸方向光学部（70y）と、

前記電磁界の前記z軸方向の成分であるz軸成分に起因して前記偏光状態が変化する感度が最も大きい特性を有するz軸方向光学部（70z）と、

の3種類の光学部のうち少なくとも2種類をそれぞれ少なくとも1つ有し、それら各光学部がz軸方向に垂直な面上に配列されてなる、配列構造を有する、

電磁界撮像装置。

[請求項3]

請求項2に記載の電磁界撮像装置であって、

前記偏光用光学部材は、前記3種類の光学部をそれぞれ少なくとも1つ有する、電磁界撮像装置。

- [請求項4] 請求項3に記載の電磁界撮像装置であって、
前記偏光用光学部材は、前記 x 軸方向光学部、前記 y 軸方向光学部及び前記 z 軸方向光学部がそれぞれ1つずつ一定方向に配列されてなる構造を単位構造として、この単位構造が前記一定方向に複数配列されて構成されており、前記3種類の光学部における前記一定方向の長さはいずれも同じ規定長である、電磁界撮像装置。
- [請求項5] 請求項2～請求項4の何れか1項に記載の電磁界撮像装置であって、
、
前記偏光用光学部材を前記撮像対象に対して相対的に移動させるように構成された移動部（7）を備える、電磁界撮像装置。
- [請求項6] 請求項4に記載の電磁界撮像装置であって、
前記偏光用光学部材を前記撮像対象に対して相対的に前記一定方向へ移動させるように構成された移動部（7）と、
前記移動部による前記移動を制御する移動制御部であって、前記偏光用光学部材の位置を、前記一定方向に前記規定長ずつ離れた3箇所に順次移動させることが可能に構成された移動制御部（7）と、
を備え、
前記撮像処理部は、前記偏光用光学部材が前記3箇所のそれぞれに配置されたときの前記電磁界を個別に撮像し、それら個別に撮像した結果に基づいて、前記 x 軸成分、前記 y 軸成分及び前記 z 軸成分が合成された前記電磁界の分布を示す二次元画像を生成して表示させるように構成されている、
電磁界撮像装置。
- [請求項7] 請求項1～請求項6の何れか1項に記載の電磁界撮像装置であって、
、
前記偏光用光学部材を、前記撮像対象に対して相対的に、前記垂直方向である z 軸方向、その z 軸方向に垂直な特定方向である x 軸方向、前記 z 軸方向に垂直且つ前記 x 軸方向に垂直な方向である y 軸方

向に移動させることができ、且つ、 x 軸周りの仰角及び y 軸周りの仰角を変化させることが可能に構成された、可動機構（7）を備える、電磁界撮像装置。

[請求項8] 請求項1～請求項7の何れか1項に記載の電磁界撮像装置であって、

前記偏光用光学部材から前記第1の支持部材を介して出射された前記検出光は、対物レンズ（16）を透過して前記偏光処理部へ入力されるように構成されている、電磁界撮像装置。

[図1]

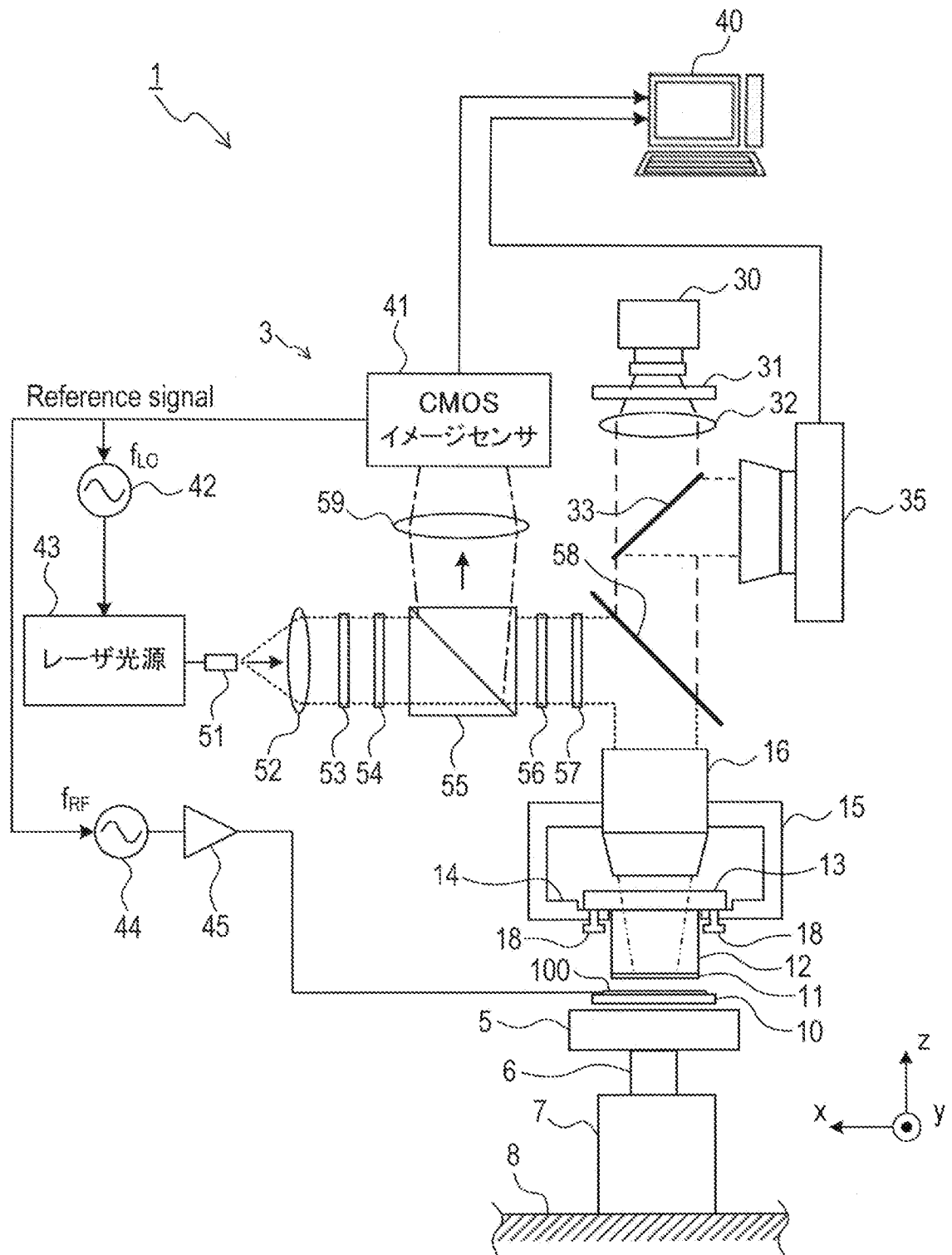


FIG. 1

[図2]

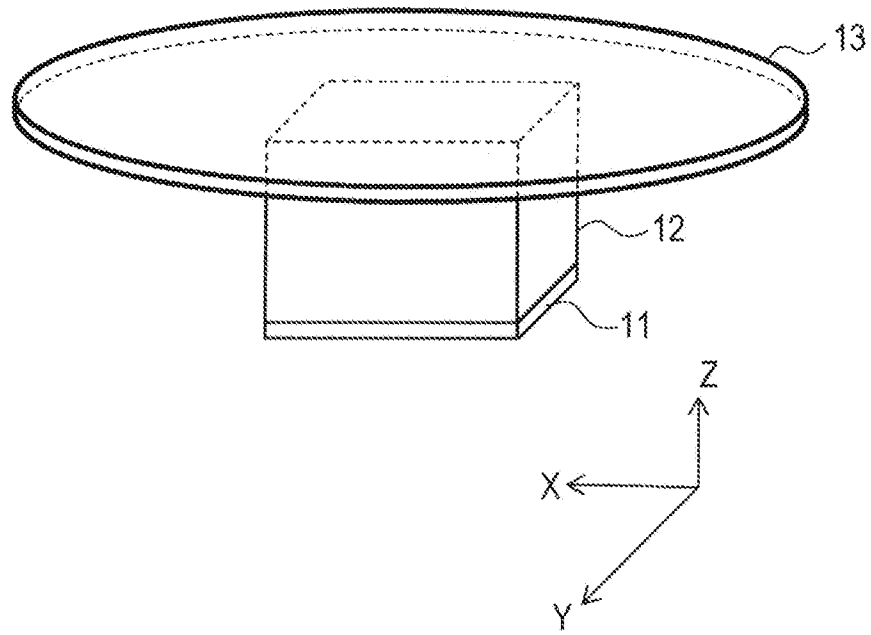


FIG. 2

[図3]

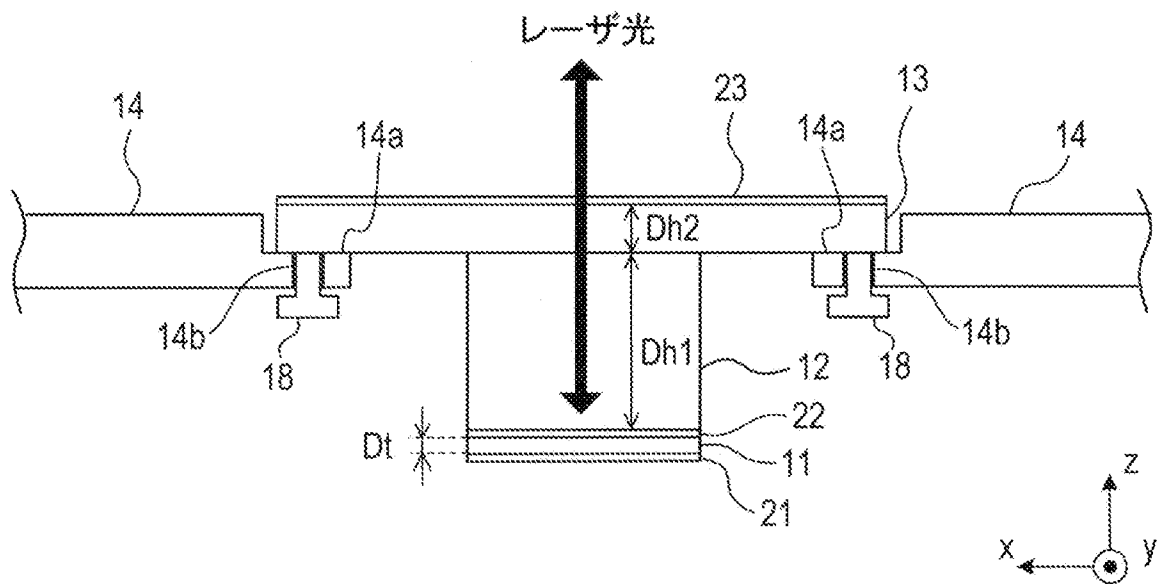


FIG. 3

[図4]

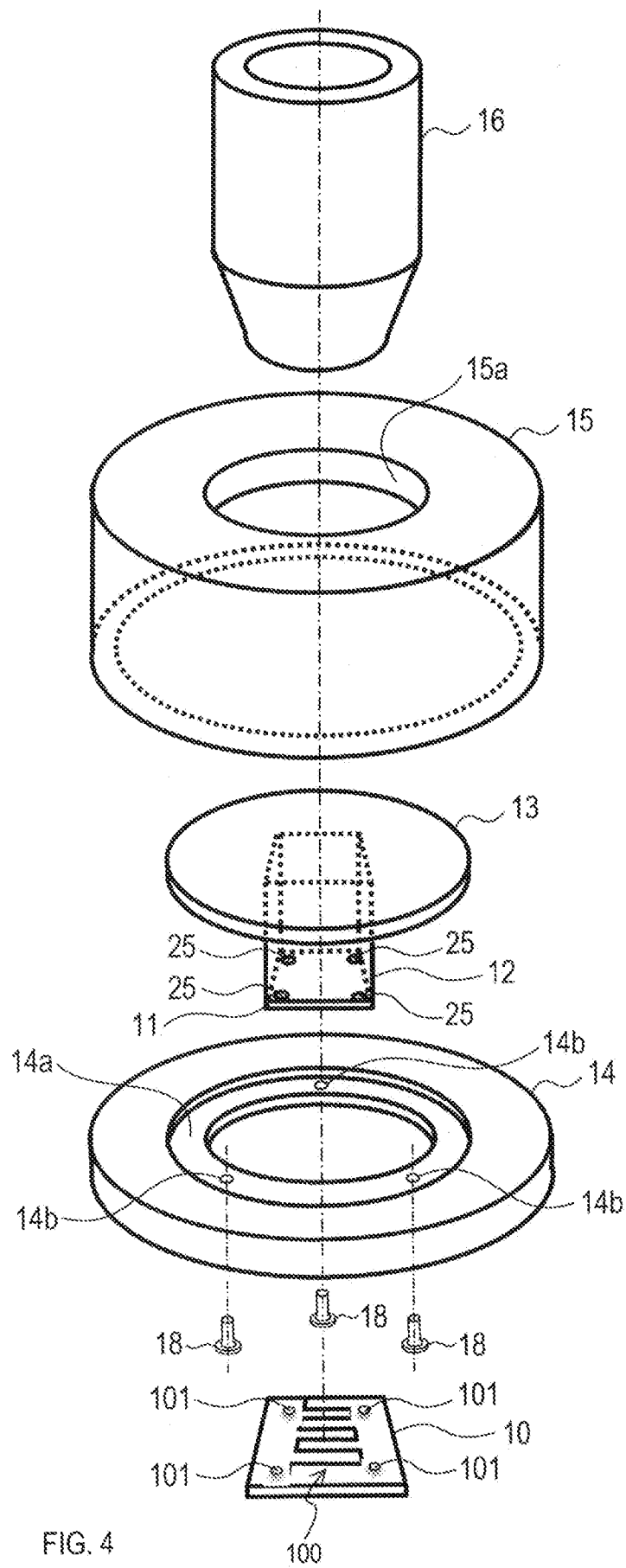


FIG. 4

[図5]

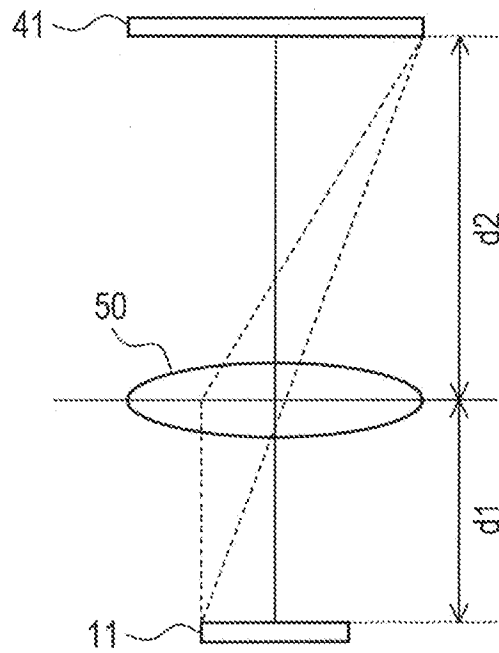


FIG. 5

[図6]

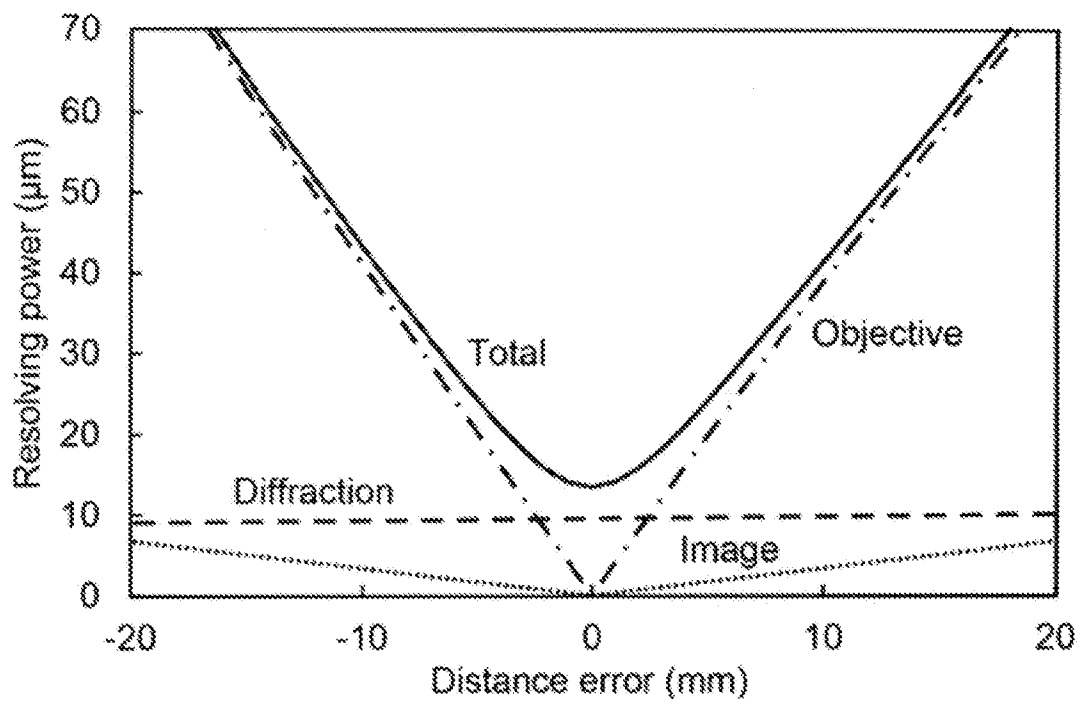


FIG. 6

[図7]

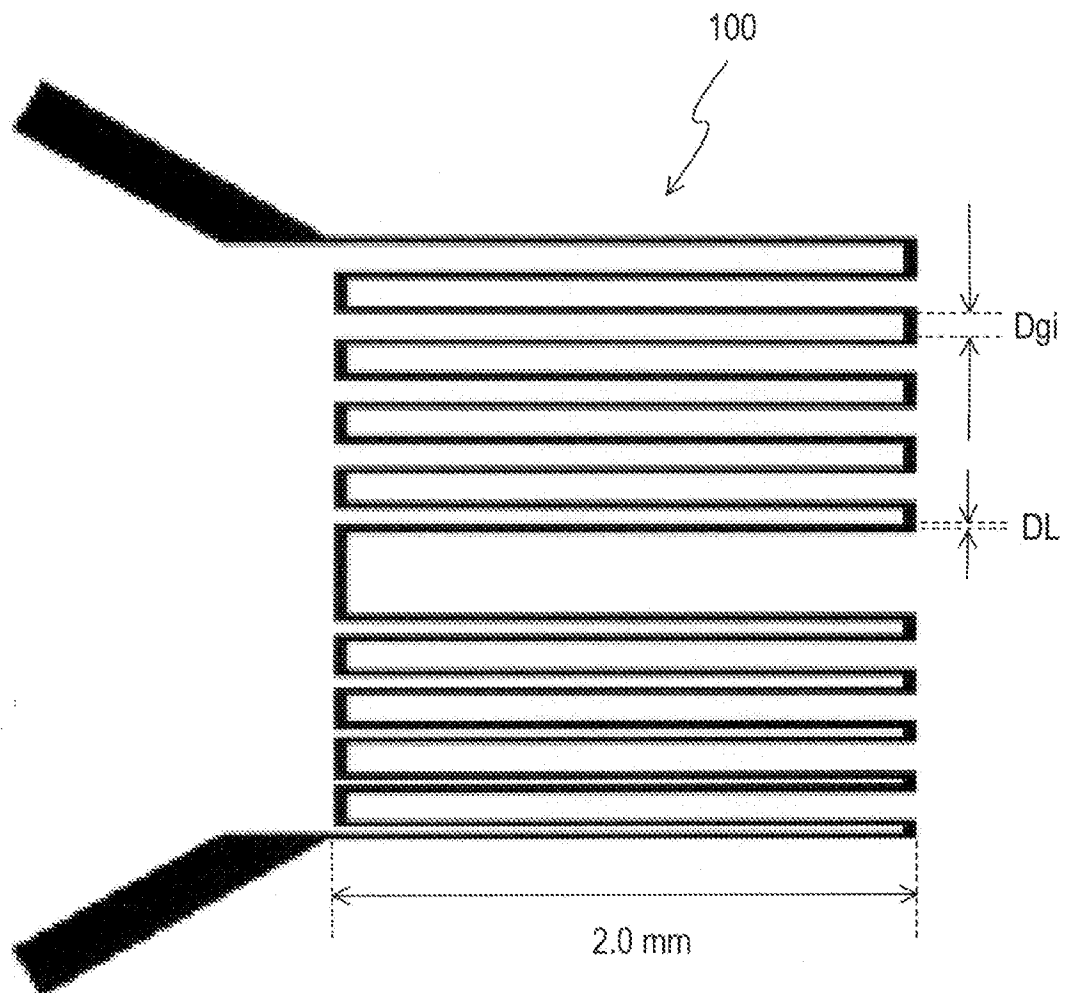


FIG. 7

[図8]

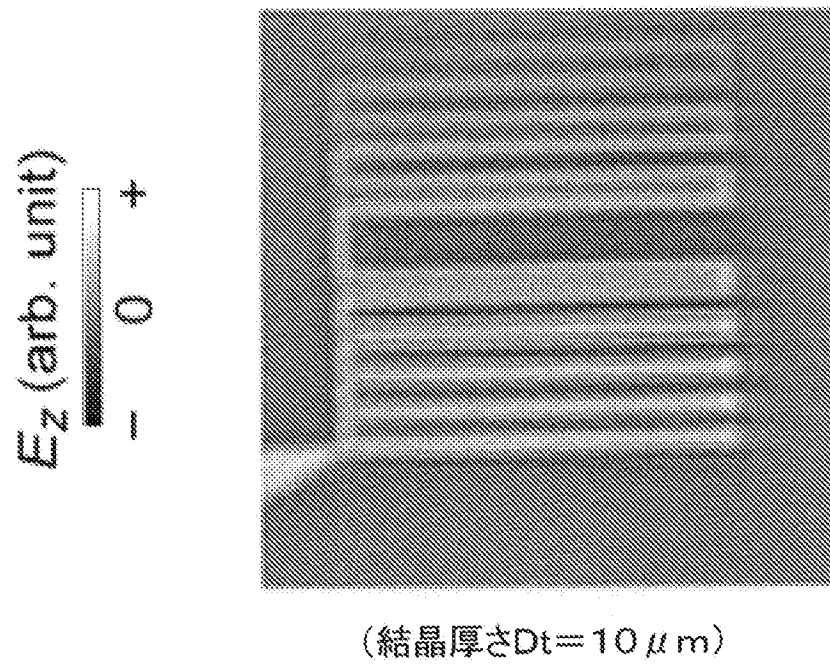


FIG. 8

[図9]

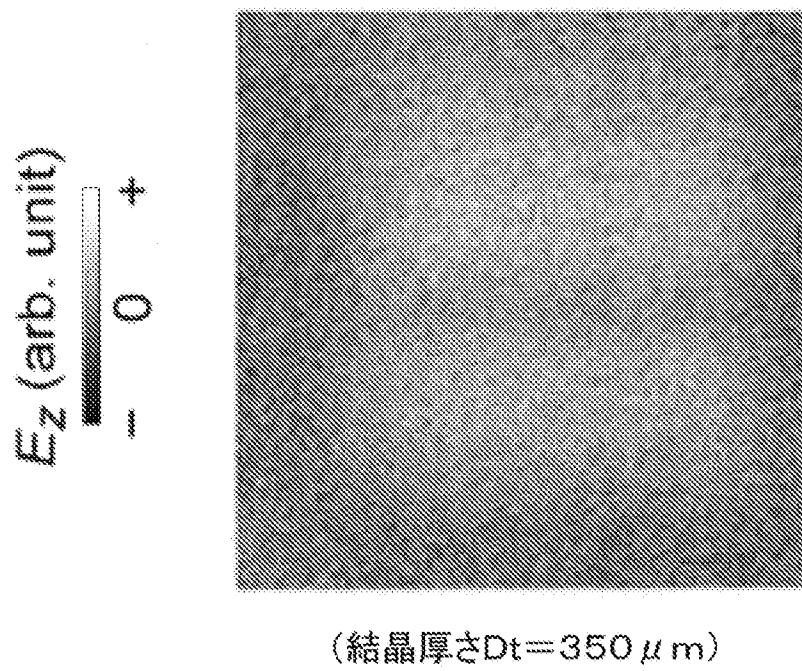


FIG. 9

[図10]

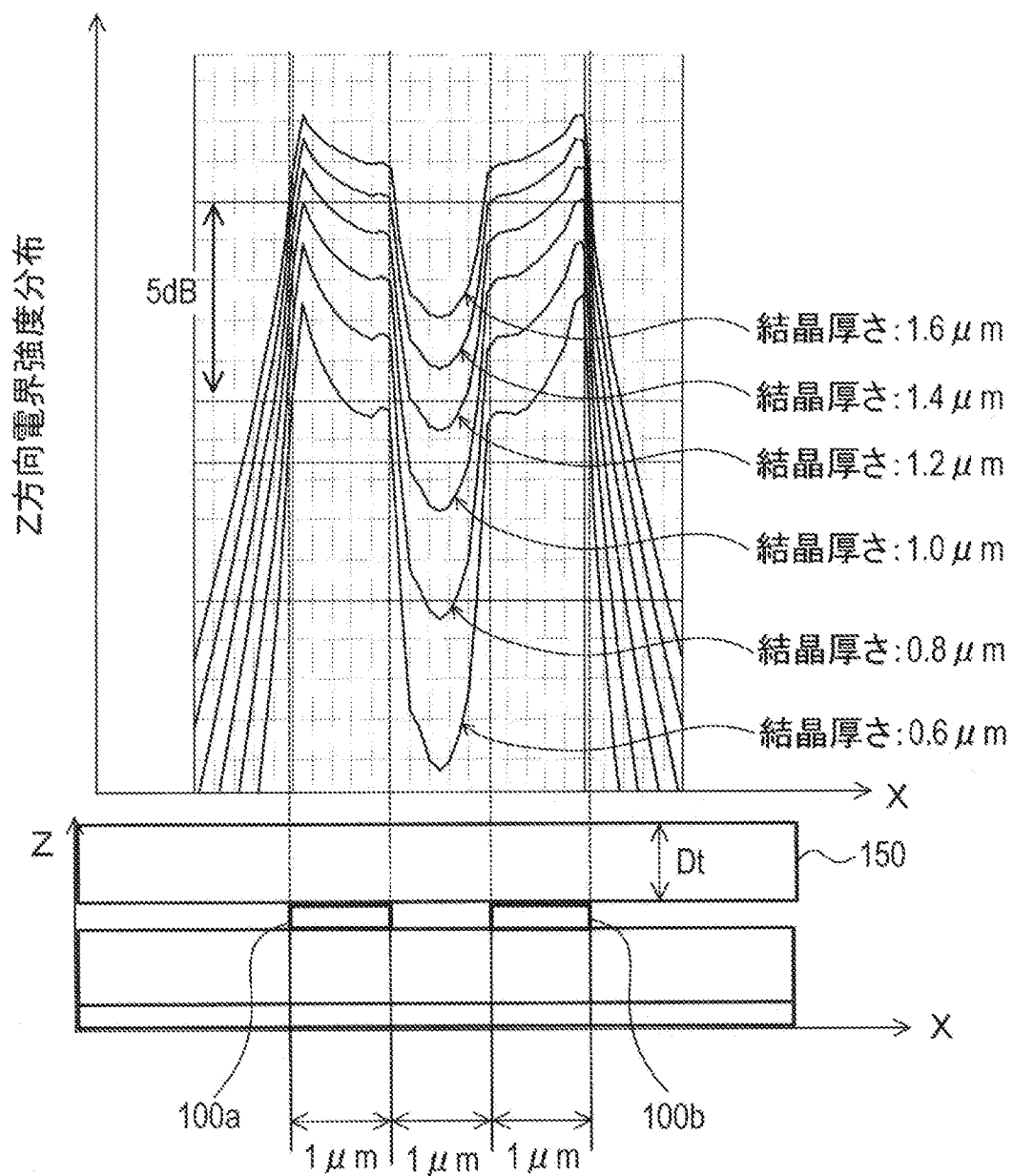


FIG. 10

[図11]

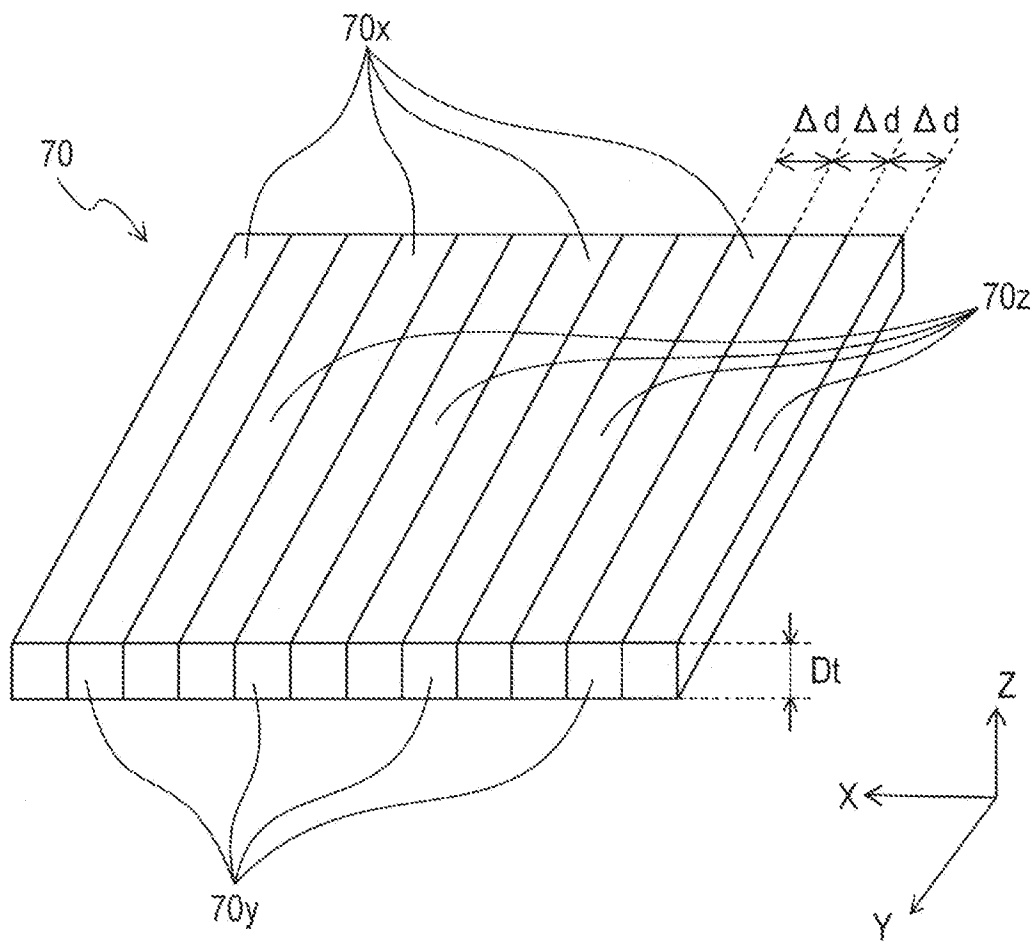


FIG. 11

[図12]

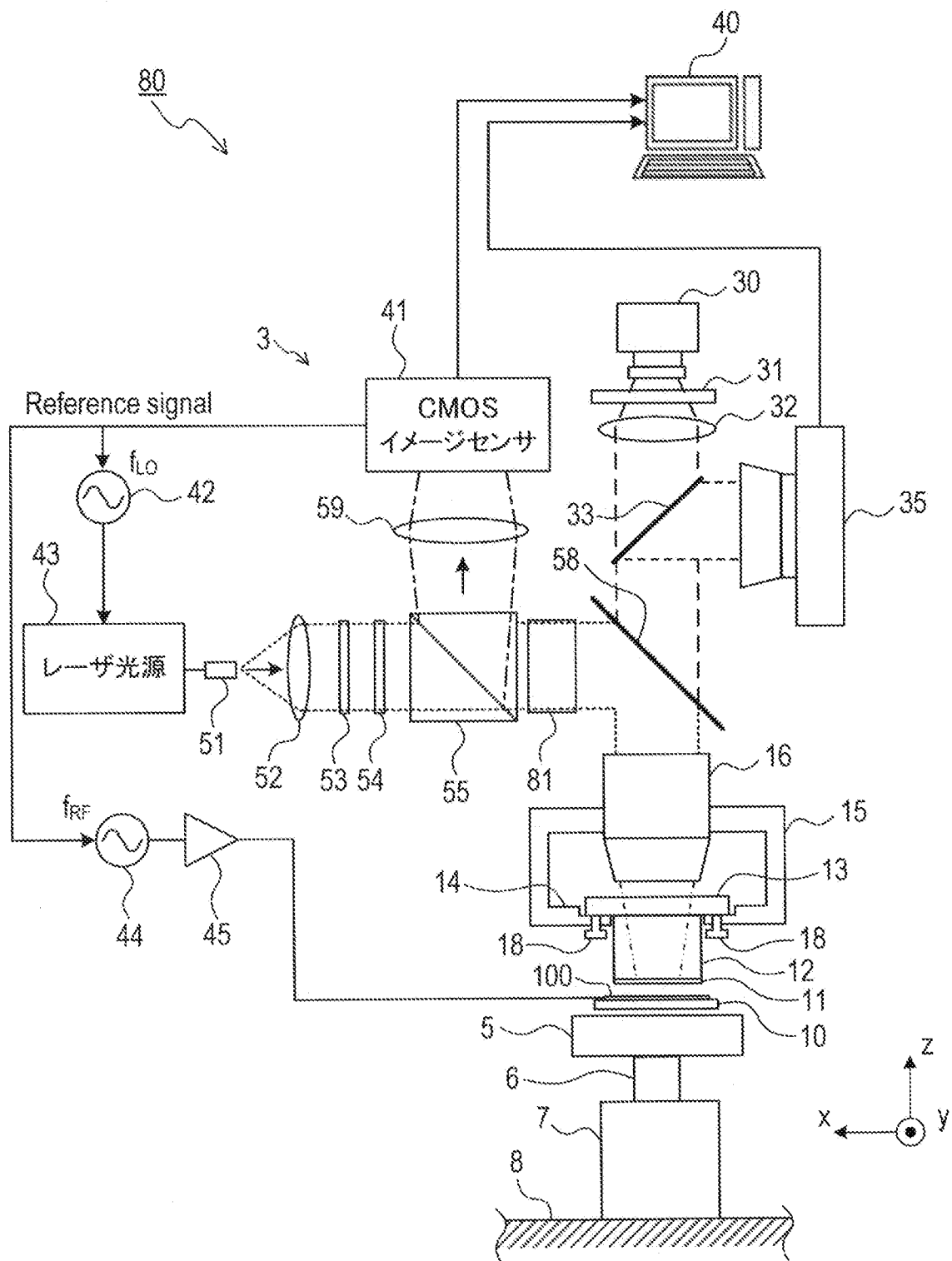


FIG. 12

[図13]

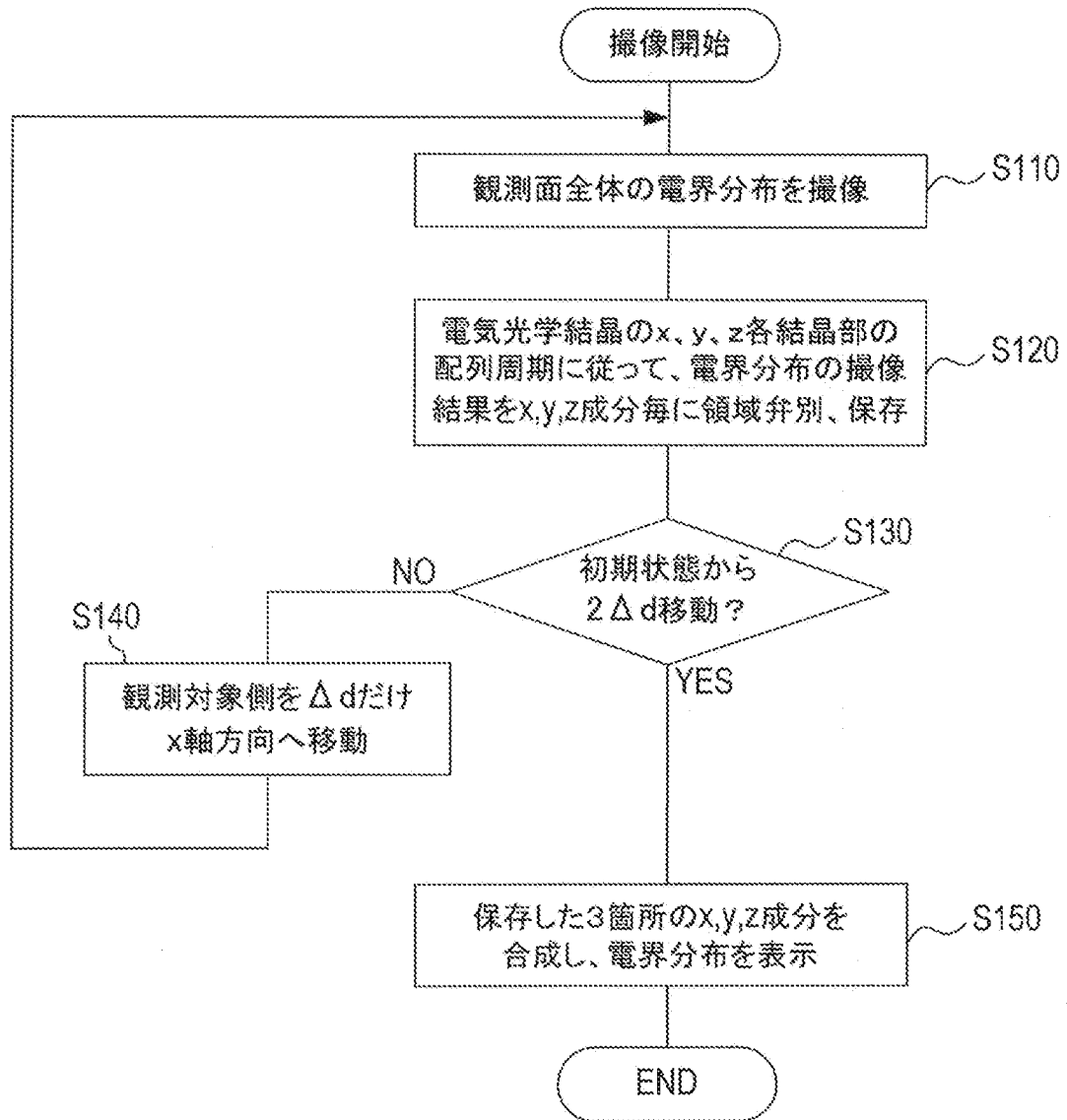


FIG. 13

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/011005

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01R29/08(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G01R15/24, G01R19/00, G01R29/08, G01R29/12, G01R33/032,

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2017

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2017 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2011-043375 A (Stanley Electric Co., Ltd.), 03 March 2011 (03.03.2011), paragraphs [0002], [0018] to [0043]; fig. 1 to 2 & US 2011/0043653 A1 paragraphs [0004], [0030] to [0055]; fig. 1 to 2 & GB 2472907 A	1-8
Y	JP 05-072299 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 23 March 1993 (23.03.1993), paragraphs [0027] to [0033]; fig. 2 to 3 & US 5543723 A column 5, line 43 to column 6, line 3; fig. 2 to 3	1-8

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
31 May 2017 (31.05.17)

Date of mailing of the international search report
13 June 2017 (13.06.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/011005

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2005-308455 A (NEC Corp.), 04 November 2005 (04.11.2005), paragraph [0035]; fig. 1 (Family: none)	1-8
Y	WO 2007/004691 A1 (NEC Corp.), 11 January 2007 (11.01.2007), description, page 2, lines 19 to 25 & US 2009/0224753 A1 paragraph [0010] & CN 101213462 A	1-8
Y	JP 2011-169680 A (National Institute of Information and Communications Technology), 01 September 2011 (01.09.2011), paragraph [0067]; fig. 5, 8 (Family: none)	2-8
Y	JP 2004-264143 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 24 September 2004 (24.09.2004), paragraphs [0047] to [0051], [0056]; fig. 6 to 7 & US 2004/0183529 A1 paragraphs [0075] to [0080], [0086]; fig. 6 to 7 & CN 1525189 A	6-8
Y	JP 02-238376 A (Nippon Telegraph and Telephone Corp.), 20 September 1990 (20.09.1990), page 2, upper right column, lines 1 to 9; fig. 4 (Family: none)	7-8

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01R29/08 (2006.01) i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. G01R15/24, G01R19/00, G01R29/08, G01R29/12, G01R33/032,

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2011-043375 A (スタンレー電気株式会社) 2011.03.03, 段落 0002, 0018-0043, 図 1-2 & US 2011/0043653 A1, 段落 0004, 0030-0055, 図 1-2 & GB 2472907 A	1-8
Y	JP 05-072299 A (日本電信電話株式会社) 1993.03.23, 段落 0027-0033, 図 2-3 & US 5543723 A, 第 5 欄第 43 行-第 6 欄第 3 行, 図 2-3	1-8

C 欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の 1 以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

31.05.2017

国際調査報告の発送日

13.06.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号 100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目 4 番 3 号

特許庁審査官 (権限のある職員)

荒井 誠

2 S

3203

電話番号 03-3581-1101 内線 3216

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	JP 2005-308455 A (日本電気株式会社) 2005. 11. 04, 段落 0035, 図 1 (ファミリーなし)	1-8
Y	WO 2007/004691 A1 (日本電気株式会社) 2007. 01. 11, 明細書第 2 頁 第 19-25 行 & US 2009/0224753 A1, 段落 0010 & CN 101213462 A	1-8
Y	JP 2011-169680 A (独立行政法人情報通信研究機構) 2011. 09. 01, 段落 0067, 図 5, 8 (ファミリーなし)	2-8
Y	JP 2004-264143 A (松下電器産業株式会社) 2004. 09. 24, 段落 0047-0051, 0056, 図 6-7 & US 2004/0183529 A1, 段落 0075-0080, 0086, 図 6-7 & CN 1525189 A	6-8
Y	JP 02-238376 A (日本電信電話株式会社) 1990. 09. 20, 第 2 頁右上欄第 1-9 行, 図 4 (ファミリーなし)	7-8